

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ**

До захисту допущено
В.о. завідувача кафедри

_____ Юлія ЯМНЕНКО
(підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

" _____ " _____ 2020 р.

Дипломний проєкт

на здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Спеціальність 171 Електроніка
(код та назва спеціальності)

Спеціалізація Електронні прилади та пристрої
на тему: Волоконно-оптична освітлювальна мережа

Виконав (-ла): студент (-ка) IV курсу, групи ДЕ-62

_____ Юрій ГУРТОВИЙ _____
(ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Керівник доцент, доцент, к.т.н. Вячеслав ЧАДЮК _____
(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант Технічний розділ _____
(назва розділу) (посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант
з нормоконтролю доцент, доцент, к.т.н. Вячеслав ЧАДЮК _____
(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 року

| № з/п | формат | Позначення | | | Найменування | Кількість аркушів | Примітка |
|-------|--------|--------------------|--|--|------------------------------|-------------------|----------|
| 1 | | | | | Завдання на дипломний проєкт | 2 | |
| 2 | A4 | ДП.ДЕ62.002.000 ПЗ | | | Пояснювальна записка | 55 | |
| | | | | | | | |
| 3 | A4 | ДП.ДЕ62.002.000 Е1 | | | Схема електрична структурна | 1 | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | </ | | |

**Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”**

Факультет електроніки

(повна назва)

Кафедра електронних пристроїв та систем

(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 171 Електроніка

(шифр і назва)

Спеціалізація Електронні прилади та пристрої

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Юлія ЯМНЕНКО
(підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

" _____ " _____ 2020 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ**

Юрій Гуртовий
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

1. Тема проєкту Волоконно-оптична освітлювальна мережа

Керівник проєкту доцент, доцент, к.т.н. Вячеслав ЧАДЮК,
(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ)

затверджені наказом по університету від «25» травня 2020 року №1196 -с

2. Термін подання студентом проєкту 05 червня 2020 р.

3. Вихідні дані до проєкту

Розробити освітлювальну систему будинку на основі використання сонячної енергії. Розробити конструкцію геліоконцентратора площею 1 кв. м та використати для введення енергії сонячного випромінювання волоконно-оптичний кабель

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити)

Порівняльний аналіз побутових джерел світла.

Порівняльний аналіз концентраторів сонячного випромінювання.

Розроблення конструкції геліоконцентратора та розрахунок оптичних втрат.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) _____

Структурна схема волоконно-оптичної освітлювальної мережі.
Конструкція геліоконцентратора. _____

6. Консультанти розділів проекту

| Розділ | Ім'я ПРІЗВИЩЕ, посада консультанта | Підпис, дата | |
|-----------|---------------------------------------|-------------------|---------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Технічний | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання 10.03.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів виконання дипломного проєкту | Строки виконання етапів проєкту | Примітка |
|-------|--|------------------------------------|----------|
| 1 | Аналіз науково-технічної літератури | 10.03–10.04.2020 | |
| 2 | Написання огляду по джерелам світла | 11.04–30.04.2020 | |
| 3 | Аналіз конструкцій концентраторів світла | 01.05–15.05.2020 | |
| 4 | Розрахунки та підготовка кресленика | 16.05–25.05.2020 | |
| 5 | Підготовка пояснювальної записки | 26.05–05.06.2020 | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Студент

(підпис)

Юрій ГУРТОВИЙ
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проєкту

(підпис)

Вячеслав ЧАДЮК
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

В дипломному проєкті представлено огляд науково-технічної літератури по концентраторам сонячного випромінювання та оптичному волокні. Показано перспективи використання таких пристроїв для створення освітлювальної мережі денного світла. Проведено порівняння параметрів найбільш популярних побутових джерел світла: світлодіодних, люмінесцентних та ламп розжарення. Описані основні елементи схеми та принцип їх дії. Розроблено конструкцію волоконно-оптичної освітлювальної мережі, побудовано її структурну схему. Проведений аналіз різних типів втрат системи та розраховано коефіцієнт передачі світла системою який склав $k_{opt}=0,57$.

ANNOTATION

The diploma project presents a review of scientific and technical literature on solar concentrators and optical fiber. The prospects of using such devices to create a lighting network of daylight are shown. The parameters of the most popular household light sources are compared: LED, fluorescent and incandescent lamps. The main elements of the scheme and the principle of their operation are described. The design of the fiber-optic lighting network is developed, its structural scheme is constructed. The analysis of different types of system losses was performed and the light transmission coefficient by the system was calculated, which amounted to $k_{\text{opt}}=0,57$

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ | 4 |
| ВСТУП..... | 5 |
| 1 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОБУТОВИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА..... | 6 |
| 1.1 Лампа розжарювання | 6 |
| 1.2 Люмінесцентна лампа..... | 14 |
| 1.3 Світлодіодна лампа | 21 |
| Висновки до розділу 1 | 27 |
| 2 ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В БУДИНКАХ | 30 |
| 2.1 Концентрація сонячного випромінювання..... | 30 |
| 2.1.1 Збиральна лінза | 30 |
| 2.1.2 Лінза Френеля..... | 32 |
| 2.1.3 Параболоїдний рефлекторний концентратор..... | 34 |
| 2.3.3 Матричний дзеркальний геліоконцентратор..... | 36 |
| 2.2 Транспортування сонячної енергії оптичними волокнами..... | 37 |
| 2.3 Система слідкування за положенням Сонця | 43 |
| 2.4 Узгодження оптичного волокна з концентратором сонячного світла..... | 45 |
| Висновки до розділу 2 | 46 |
| 3 ПРОЄКТУВАННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ | 47 |
| 3.1 Розробка структури волоконно-оптичної освітлювальної мережі..... | 47 |
| 3. Розрахунок оптичних втрат у волоконно-оптичній освітлювальній мережі..... | 49 |
| Висновки до розділу 3 | 53 |
| ВИСНОВКИ..... | 54 |
| ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ | 55 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

°C – температура в градусах Цельсія;

K – температура в градусах кельвіна;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

LED - Light-emitting diode;

SMD - surface mounted device;

COB - Chip-On-Board;

POF – Plastic Optical Fiber;

HPCF - Hard Polimer Clad Fiber;

GOF – Glass Optical Fiber.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 4 |
| Змн. | Анк. | № докum. | Підпис | Дата | | |

ВСТУП

Освітлювальна система є важливою складовою частиною в кожному приміщенні. Завдяки ній створюються комфортні умови для навчання, роботи та проживання. В більшості сучасних систем в якості джерел світла використовують світлодіодні люмінесцентні або лампи розжарення. Ці типи ламп перетворюють електричну енергію в світлову і кожен з них має як і переваги так і недоліки.

Проте для освітлення можна використовувати й відновлювальне джерело енергії – Сонце. Частково з цією задачею справляються вікна. Проте для освітлення приміщень до яких немає прямого доступу сонячних променів потрібно вирішити проблему транспортування сонячного випромінювання. Для даного завдання використовуються світловоди.

Одним із основних завдань при проектуванні освітлювальної мережі є концентрація сонячного випромінювання. Від параметрів геліоконцентратора залежать характеристики всієї системи.

Завданням дипломного проєкту є:

- провести порівняння існуючих освітлювальних систем, зокрема джерел світла. Порівняти їхні параметри, характеристики і переваги кожного з них;
- спроектувати власну освітлювальну систему денного світла, яка буде спроможна транспортувати світло на певну відстань, визначити основні її елементи та провести аналіз пристроїв, які будуть найкраще виконувати задану функцію;
- провести аналіз ефективності спроектованої системи.

Спроектвана система є надзвичайно перспективною, адже їй не потрібна електроенергія від мережі для функціонування. Тобто вона є автономною, а в наш час людство зіткнулось з проблемою виснаження невідновлювальних джерел енергії, отже, тема дипломного проєкту є надзвичайно актуальною.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 5 |
| Змн. | Анк. | № доквм. | Підпис | Дата | | |

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОБУТОВИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

1.1 Лампа розжарювання

Лампа розжарювання – штучне джерело світла, світло в якому випромінює провідник, нагрітий електричним струмом до високої температури. В сучасних лампах розжарення в якості тіла, що випромінює світло, використовують спіралі з тугоплавких металів. А в колбі утворюють вакуум, або заповнюють її інертними газами.

При протіканні через спіраль електричного струму, вона нагрівається і в відповідності до закону Планка, починає випромінювати електромагнітне випромінювання. Для того, щоб отримати випромінювання видиме людському оку, потрібно нагріти тіло розжарення до 570 °С. Це температура при якій тіло випромінює електромагнітні хвилі червоного діапазону спектру, яке людина може побачити в темноті. Для людини найбільш оптимальним є світло яке випромінює Сонце, поверхня якого має температуру 5780 К. Проте на даний час невідомі такі тверді тіла, які можуть витримати таку температуру без руйнування. В сучасних лампах розжарення робоча температура тіла розжарення лежить в межах 2000-2800 °С. Для виготовлення тіла розжарення в наш час найчастіше використовують вольфрам (температура плавлення 3420 °С), рідше реній (температура плавлення 3186 °С) і осмій (температура плавлення 3033 °С). Через це спектр випромінювання лампи зміщений в червону його частину. Основна частина випромінювання приходить на інфрачервоне випромінювання і мала його частина припадає на видиму частину спектру.

В атмосферному повітрі при високих температурах тіло розжарення швидко окисляється, утворюючи оксиди. При використанні вольфраму утворюється триоксид вольфраму WO_3 (утворюється білий наліт на внутрішній поверхні лапи, при розгерметизації). Через це тіло розжарення поміщують в герметичну колбу з якої відкачується повітря і заповнюється інертними газами, такими як аргон, азот чи криптон. В наш час вакуумні колби використовуються

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 6 |
| Змн. | Анк. | № док.м. | Підпис | Дата | | |

лише для ламп малої потужності, до 25 Вт. При наповненні ламп газом підвищується тиск в колбі, що в свою чергу зменшує швидкість випаровування тіла розжарення. Через це збільшується строк служби лампи і можна розігрівати тіло розжарення до більших температур, що приближає спектр випромінювання до білого. Хоч тіло розжарення всеодно розпиляється і осідає на внутрішній поверхні лампи, але не так швидко як в вакуумованих, то ж скляна колба повільніше темніє [1].

Сучасні лампи розжарення мають багато варіантів будови в залежності від їх призначення та потужності. Так як в даній роботі розглядаються системи освітлення приміщень то будову лам розжарення будемо розглядати на прикладі лампи загального призначення рис.1.1, які найбільш часто використовуються для дани цілей.

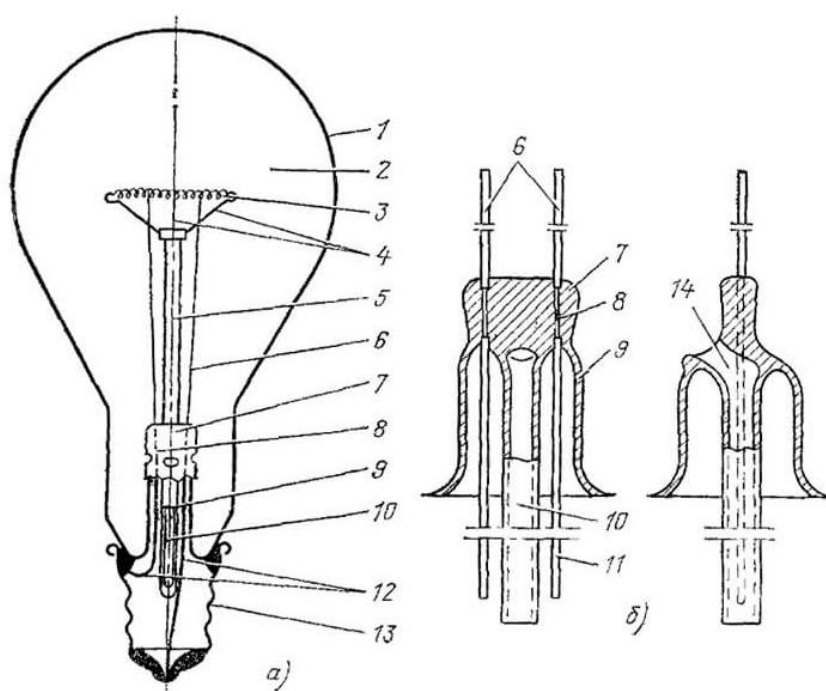


Рис. 1.1. Конструкція лампи розжарення загального призначення (а) та її ніжки (б)

Основною частиною конструкції лампи є тіло розжарення 3, кріплення тіла розжарення всередині лампи здійснюється за допомогою електродів 6, які зазвичай тримають його кінці. Проте основною функцією електродів є підведення електричного струму до тіла розжарення, тобто вони є внутрішніми

ланками виводів. При недостатній стійкості тіла розжарення, використовують додаткові тримачі 4. Тримачі впаюють в скляний стрижень 5, його також називають штабіком, він має потовщення на кінці і з'єднаний скляною ніжкою, яка зображена на рис. 1, б. Вона складається з електродів 6, тарілочки 9 і штангеля 10, який представляє собою порожнисту трубку через яку відкачується повітря з колби лампи. Загальне з'єднання між собою проміжних виводів 8, штабіка, тарілочки та штангеля утворює лопатку 7. З'єднання здійснюється шляхом розплавлення скляних деталей, в результаті чого утворюється відкачний отвір 14, який з'єднує внутрішню порожнину штангеля з внутрішньою порожниною колби лампи. Для підведення електричного струму до тіла розжарення через електроди 6 застосовують проміжні 8 і зовнішні виводи 11, які з'єднані між собою електрозваркою. Для ізоляції тіла розжарення від впливу зовнішнього середовища використовується скляна колба 1. Повітря з внутрішньої порожнини лампи відкачується, а замість нього закачується інертний газ, або суміш газів 2, після чого кінець штангеля нагрівається і запаюється. Для підводу до лампи електричного струму і її закріплення в електричному патроні лампа обладнується цоколем 13. На відповідні місця цоколя припаюють виводи лампи 12 [2].

В конструкції ламп розжарення загального призначення також передбачається запобіжник – ланка з феронікелевого сплаву, вварена в розрив одного із виводів лампи, і розміщена за межами порожнини колби, зазвичай в ніжці. Призначення запобіжника – запобігти руйнуванню колби при розриві нитки розжарення в процесі роботи лампи. В зоні розриву виникає електрична дуга, яка розплавляє останки нитки, каплі розплавленого металу можуть зруйнувати скло колби і спричинити пожежу. Запобіжник розрахований таким чином, щоб при запаленні дуги він руйнувався під дією струму дуги, який значно перевищує номінальний робочий струм лампи. Феронікелева ланка знаходиться в порожнині де тиск рівний атмосферному, а тому дуга швидко гасне [1].

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 8 |
| Змн. | Анк. | № доквм. | Підпис | Дата | | |

Скляна колба захищає тіло розжарення від дії атмосферних газів. Розміри колби визначаються в залежності від швидкості осадження матеріалу тіла розжарення на внутрішню її поверхню. Для виготовлення колби використовують різні види скла, вибір якого залежить від потужності лампи, особливостей газового середовища, тиску всередині лампи, робочої температури і ін. Для ламп загального призначення зазвичай використовують натрієво-кальцієве силікатне скло, рідше боросилікатне скло.

Більшість ламп розжарення наповнюють інертними газами, або їх сумішами. Це дозволяє підвищити робочу температуру тіла розжарення без зменшення строку служби через зниження швидкості розпилення тіла розжарення в газовому середовищі в порівнянні з вакуумом. Швидкість розпилення знижується з ростом молекулярної маси і тиску газу що наповнює лампу. Тиск газів всередині колби становить приблизно 10^5 Па. Використання газового середовища сприяє появі теплових втрат через теплопровідність через газ і конвекцію. Для зменшення втрат лампи заповнюють важкими інертними газами або їх сумішами. До таких газів відносяться азот, аргон, криптон і ксенон.

Матеріал тіла розжарення повинен відповідати таким вимогам: мати високу температуру плавлення, бути пластичним, щоб можна було тягнути драти різного діаметру, низьку швидкість випаровування на робочих температурах. Одним із найбільш тугоплавких матеріалів є вольфрам. Завдяки ряду своїх характеристик найбільш часто використовується для виготовлення тіла розжарення. Тому розглянемо основні фізичні властивості тіла розжарення виготовленого із вольфраму (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1

Основні фізичні властивості вольфрамового тіла розжарення
в залежності від температури

| Температура, К | Швидкість випаровування, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ | Питомий опір, 10^{-6} Ом·см | Яскравість, $\text{кд}/\text{м}^2$ | Світлова віддача, $\text{лм}/\text{Вт}$ | Колірна температура, К |
|----------------|--|-------------------------------|------------------------------------|---|------------------------|
| 1000 | $5,32 \cdot 10^{-35}$ | 24,93 | 0,0012 | 0,0007 | 1005 |
| 1400 | $2,51 \cdot 10^{-23}$ | 37,19 | 1,04 | 0,09 | 1418 |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 9 |
| Змн. | Анк. | № док.м. | Підпис | Дата | | |

| | | | | | |
|------|-----------------------|-------|------|-------|------|
| 1800 | $8,81 \cdot 10^{-17}$ | 50,05 | 51,2 | 1,19 | 1823 |
| 2200 | $1,24 \cdot 10^{-12}$ | 63,48 | 640 | 5,52 | 2238 |
| 2600 | $8,41 \cdot 10^{-10}$ | 77,49 | 3640 | 14,34 | 2660 |

Продовження табл. 1.1

| | | | | | |
|------|----------------------|--------|-------|-------|------|
| 3000 | $9,95 \cdot 10^{-8}$ | 92,04 | 13260 | 27,25 | 3092 |
| 3400 | $3,47 \cdot 10^{-6}$ | 107,02 | 36000 | 43,20 | 3522 |

Для зменшення розмірів тіла розжарення його зазвичай виконують в вигляді спіралі. Існують варіанти з одинарною, подвійною і потрійною спіралізацією нитки розжарення. ККД ламп з подвійною і потрійною спіралізацією вищий, за рахунок збільшення площі тіла розжарення і зменшення тепловтрат через конвекцію [2].

Параметри ламп розжарення прийнято ділити на три групи – електричні, світлові та експлуатаційні.

Електричні параметри характеризують лампу як споживача електричної енергії і визначають можливість її підключення до джерела живлення. До електричних параметрів відносять номінальну напругу і номінальну потужність лампи, струм є похідною величиною і визначається розрахунком.

Світлові параметри є більш різноманітними. Для ламп розжарення загального призначення основними параметрами є світловий потік і світлова віддача, а другорядними ряд параметрів як яскравість, колірна температура.

Експлуатаційні параметри визначають можливість і техніко-економічну доцільність використання ламп того чи іншого типу в даній освітлювальній системі. Основні параметрами даного типу – строк служби лампи, стабільність світлового потоку, геометричні розміри лапи, параметри зовнішнього середовища.

Основним електричним параметром лампи розжарення є номінальна напруга лампи – це напруга, при якій лампа працює в найбільш економічному режимі, і на яку вона розрахована для нормальної експлуатації. Позначається $U_{л.ном}$ і вимірюється в вольтах (В). Протягом тривалого часу для ламп загального призначення напруга мережі живлення була номінальною. Всі інші

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 10 |
| Змн. | Анк. | № доквм. | Підпис | Дата | | |

електричні параметри ламп розжарення розраховували відповідно до номінальної напруги, проте напруга в освітлювальних мережах часто відрізняється від номінальної. Тому для покращення експлуатаційних характеристик ламп відповідно до ГОСТ 2239-79 введено п'ять інтервалів напруги живлення: 125-135, 215-225, 220-230, 230-240 і 235-245 В, причому за номінальну напругу ламп в відповідності до міжнародної класифікації були прийняті напруги 130, 220, 225, 235 і 240 В.

Номінальна потужність $P_{\text{л.ном}}$ – розрахункова величина яка характеризує потужність яку споживає лампа при її включенні при номінальній напрузі, вимірюється у Ватах (Вт). Практично для партії ламп – це середнє значення потужності для великої кількості ламп даного типу. Можливі відхилення значень потужності окремих ламп обмежують верхнім порогом допустимої потужності для даної партії ламп. Такий параметр, як рід струму, є неважливим для ламп розжарення тому що вони однаково добре працюють як від постійного так і від змінного струму.

Основна світлова характеристика лампи розжарення загального призначення – світловий потік. Світловим потоком – величина, яка визначається кількістю енергії, котру випромінює джерело світла за одиницю часу, позначається Φ , вимірюється в люменах (лм). Практично номінальним світловим потоком лампи є середнє значення світлового потоку великої партії ламп даного типу. Якщо говорити про окрему лампу розжарення, то можна точно визначити нижню допустиму межу світлового потоку. Обмеження верхньої межі не має сенсу, тому що підвищити значення світлового потоку можна підвищивши потужність лампи, або підвищенням температури тіла розжарення, але це приведе до зменшення строку служби лампи.

Іншим важливим параметром для ламп розжарення є світлова віддача, це відношення світлового потоку що випромінює лампа до її потужності. Позначається η , вимірюється в люмен-на-ват (лм/Вт). За допомогою цього параметру можна оцінити ефективність використання ламп в освітлювальних

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 11 |
| Змн. | Анк. | № доквм. | Підпис | Дата | | |

мережах. Світлова віддача ламп розжарення росте з підвищенням потужності, для ламп однакової потужності вона більша для ламп розрахованих на меншу номінальну напругу. Для ламп розжарення сталої потужності і конструкції світлова віддача залежить від температури тіла розжарення. Але при підвищенні температури вольфрам швидше розпиляється, дану проблему вирішили введенням в колбу галогенів, які в процесі роботи лампи виконують галогенові цикли (галогени притягують до себе атоми вольфраму, через що вони не осідають на склі, потім за допомогою конвекції знов повертають атоми металу назад на тіло розжарення).

Колірна температура характеризує спектр випромінювання джерела світла. Вимірюється в градусах Кельвіна (K) і показує до якої температури потрібно нагріти абсолютно чорне тіло, щоб спектр його випромінювання відповідав спектру даного джерела світла[3, 4]. В таблиці 1.2 приведений приклад колірної температури різних ламп розжарення, в залежності від газів які наповнюють їх [5].

Таблиця 1.2

Колірна температура різних типів ламп розжарення

| Тип | Світловий потік, лм | Світлова температура, К | Строк служби, годин |
|----------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|
| Вакуумна | 300-1600 | 2000-4500 | 1000 |
| Аргонова | 200-8400 | 2000-4500 | 1500 |
| Ксенонова, галогенна | 14000-44000 | Від 4500 | 4000 |
| Криптонова | 500-10000 | Від 4000 | 2000 |

Для розміщення лампи в тій чи іншій освітлювальній системі потрібно щоб її геометричні розміри відповідали певним значенням. Основні геометричні параметри ламп розжарення загального призначення це її габаритні розміри. До них відносяться:

- найбільший діаметр колби, вимірюється в площині, перпендикулярній осі лампи;

- повна довжина лампи, вимірюється по осі лампи;
- тип цоколя.

Важливим експлуатаційним параметром є середній строк служби τ , вимірюються в годинах (год). Він представляє собою середнє арифметичне значення повних строків служби груп ламп (більше 10). Це параметр особливо важливий для ламп розжарення, тому що при збільшенні світлової віддачі значно зменшується строк служби. Так як експериментальне визначення даного параметра виводить з ладу лампи, то він визначається на певній кількості ламп з партії.

До експлуатаційних параметрів відноситься і мінімальний допустимий світловий потік, нижче значення котрого експлуатація ламп розжарення стає економічно не вигідною. Для сучасних ламп розжарення кінцевий світловий потік становить 85-90% від початкового.

Також важливою є характеристика кліматичних умов, в межах яких забезпечуються всі задані параметри. Кліматичні умови експлуатації характеризуються: інтервалом температур зовнішнього середовища, в межах якої повинні зберігатися працездатність лампи; верхня межа інтервалу вологості; інтервал змінення тиску зовнішнього середовища. Для виробів загального призначення зазвичай ці параметри мають такі значення: інтервал температур від -60 до +50 °C, відносна вологість не вище 98% при 20 °C і тиск не нижче $0,75 \cdot 10^5$ Па.

В якості прикладу нормування параметрів ламп розжарення в таблиці 1.3 наведені регламентовані ГОСТ 2239-79 параметри ламп розжарення загального призначення з криптоновим наповненням [3].

Таблиця 1.3

Параметри освітлювальних ламп розжарення загального призначення
з криптоновим наповненням

| Тип лампи | Номінальні значення | | |
|-----------|---------------------|-------------------|--------------------------|
| | Напруги, В | Потужності, Вт | Світлового потоку, лм |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 13 |
| Змн. | Анк. | № доквм. | Підпис | Дата | | |

| | | | |
|---------------|-----|-----|------|
| БК125-135-40 | 130 | 40 | 520 |
| БК125-135-60 | 130 | 60 | 875 |
| БК125-135-100 | 130 | 100 | 1630 |
| БК125-225-40 | 220 | 40 | 415 |
| БК125-225-60 | 220 | 60 | 790 |
| БК125-225-100 | 220 | 100 | 1450 |

1.2. Люмінесцентна лампа

Люмінесцентна лампа – це газорозрядне джерело світла, в якому електричний розряд в парах ртуті створює ультрафіолетове випромінювання, яке перетворюється в видиме світло за допомогою люмінофору. Найбільш поширені газорозрядні ртутні лампи високого і низького тиску. Лампи високого тиску використовують в освітлювальних установках великої потужності, а лампи низького тиску використовують для освітлювання житлових і виробничих приміщень [6]. Тому в даній роботі будуть розглядатися газорозрядні лампи низького тиску. Лампи даного типу мають високу світлову віддачу, яка досягнута завдяки поєднанню дугового розряду в парах ртуті низького тиску, який має високу ефективність перетворення електричної енергії в ультрафіолетове випромінювання, з перетворенням останнього в видиме в шарі люмінофору.

Люмінесцентні лампи представляють собою довгі скляні трубки, в торці яких впаяні ніжки, несучі електроди (Рис. 1.2). Використовуються 2 види електродів – вольфрамова подвійна або потрійна спіраль з нанесеним на неї шаром активної речовини, яка має низьку роботу виходу при температурі нагріву приблизно 1200 К (оксидні катоди), або холодний оксидний катод з збільшеною поверхнею, який виключає можливість його перегріву під час роботи лампи.

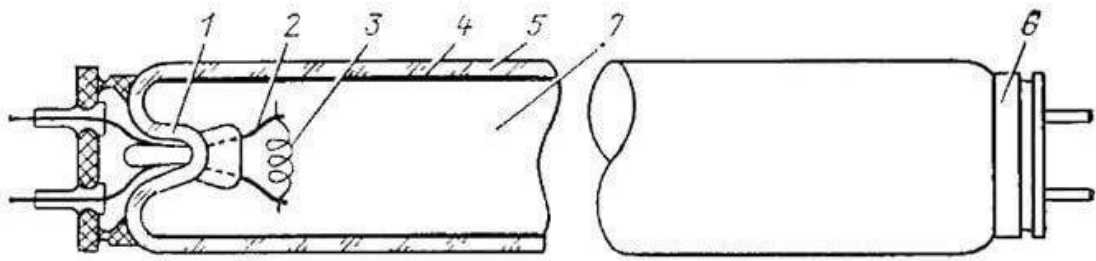


Рис.1.2. Схема будови люмінесцентної лампи:

1 – ніжка; 2 – електрод; 3 – катод; 4 – шар люмінофору; 5 – трубка колби; 6 – цоколь; 7 – газове середовище (суміш інертних газів з парами ртуті)

Оксидний катод покритий шаром речовини що емітує, який складається із оксиді лужноземельних металів, які отримують при нагріванні і розкладанні карбонатів (BaCO_3 , CaCO_3 , SrCO_3). Покриття активовано домішками лужноземельних елементів в малій кількості. В результаті зовнішня поверхня катоду покривається напівпровідниковим шаром з малим значенням роботи виходу електронів. Оксидні катоди працюють при 1250-1300 К, що забезпечує великий строк служби і мале падіння напруги на ньому.

В трубку люмінесцентної лампи введено невелику кількість ртуті, яка створює при 30-40 °С тиск насичених її парів, і інертний газ з парціальним тиском в декілька сотень Паскаль. Тиск парів ртуті визначає зниження напруги загорання розряду, а також вихід ультрафіолетового випромінювання резонансних ліній ртуті 253,65 і 184,95 нм. В якості інертного газу в люмінесцентній лампі зазвичай використовують аргон при тискові 330 Па. Останнім часом в лампах загального призначення застосовують суміш аргону з неоном в пропорціях 80% до 20% або 90% до 10%, при тискові 200-400 Па. Завдяки добавці інертних газів до парів ртуті розряд легше запалюється, знижується розпилення оксидного покриття катоду і підвищується рівень виходу резонансних ліній ртуті. В люмінесцентних лампах 55% потужності випромінювання ртуті припадає на лінію 253,65 нм, 5,7 на 184,95 нм, 1,5-2% на лінії 463,546 і 577 нм, і 1,8% на світлове випромінювання других довжин хвиль. Вся інша потужність витрачається на нагрів колби і електродів. На внутрішню поверхню трубки рівномірно по всій довжині наносять тонкий шар

люмінофору. Завдяки цьому світлова віддача ртутного розряду підвищується з 5-7 лм/Вт до 70-80 лм/Вт в сучасних люмінесцентних лампах потужністю 40 Вт. При використанні люмінофорів на основі лужноземельних металів світлова віддача лампи діаметром 26 мм підвищується до 90-100 лм/Вт [7]. Основні фізичні процеси які протікають під час роботи лампи: при подачі на електроди напруги, електрони емітують з катоду, потім вони зіштовхуються з атомами ртуті, і іонізують останні. При зіткненні електрона з іоном ртуті вони об'єднуються і виділяють квант енергії ультрафіолетового діапазону. Ультрафіолетове випромінювання опромінює люмінофор, котрий перетворює його на світло видимого діапазону [8].

Так як основним джерелом резонансного випромінювання є стовп розряду, який займає малу частку внутрішнього об'єму лампи. Світлова віддача резонансного випромінювання залежить від довжини лампи, зі збільшенням якої вплив катодної області, яка не бере участі в створенні резонансного випромінювання, буде зменшуватись. На рисунку 1.3 показана залежність світлової віддачі люмінесцентної лампи від її довжини.

В сучасних лампах використовують переважно оксидні катоди, які працюють в режимі самопідігріву з катодною плямою і підвищеною термоелектричною емісією з усієї поверхні. Кількість активуючої речовини в оксидному шарі визначає фактичний строк служби лампи, тому що саме ця речовина витрачається в процесі горіння.

Після створення дугового розряду вихід електронів концентрується на катодній плямі. У новій лампі вона розташована біля електрода який безпосередньо розміщений біля джерела живлення. По мірі виснаження атомів активуючої речовини, катодна пляма переміщається по спіралі катода до протилежної краю, що приводить до поступового незначному підвищенню напруги в лампі. В кінці строку служби лампи значно зростає напруга запалення.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 16 |
| Змн. | Анк. | № доквм. | Підпис | Дата | | |

Для роботи люмінесцентні лампи потребують пускорегулюючу апаратуру – світлотехнічний пристрій, за допомогою якого виконується живлення газорозрядної лампи, від електричної мережі. Забезпечує необхідні режими запалення і роботи лампи. В сучасних лампах може бути виконане в вигляді окремого блоку або вмонтоване в неї [7].

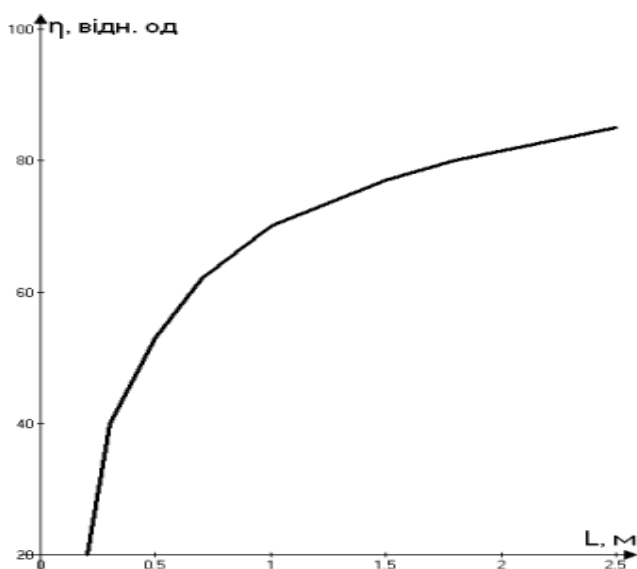


Рис. 1.3. Залежність світлової віддачі люмінесцентної лампи від її довжини

Люмінесцентні лампи як і лампи розжарення характеризуються світловими, електричними і експлуатаційними параметрами.

Світлові параметри: колір і спектральний склад випромінювання; світловий потік; яскравість; пульсація світлового потоку.

Електричні параметри: потужність; робоча напруга; вид напруги живлення; тип розряду який використовується в області світіння.

Експлуатаційні параметри: світлова віддача; строк служби; залежність світлових і електричних параметрів від напруги живлення і умов зовнішнього середовища; розміри і форма ламп.

Основною ознакою, яка виділяє із всього різноманіття ламп лампи масового використання для освітлювальних мереж – їхня напруга горіння, зв'язана з різновидом використаного розряду. За цією ознакою лампи діляться на три типи:

1. Люмінесцентні лампи дугового розряду з напругою горіння до 220 В. Такі лампи мають оксидний прямого розжарення і запалюються при його попередньому нагріві, що обумовлено особливостями їхньої конструкції.
2. Люмінесцентні лампи дугового розряду з напругою горіння до 750 В. працюють без попереднього нагріву катодів і мають більше 60 Вт.
3. Люмінесцентні лампи тліючого розряду з холодними катодами. Працюють при низьких силах струму (від 20 до 200мА) в установках високої напруги (до декількох кВ).

Так як лампи першого типу набули найбільшого поширення в нашій країні і країнах Європи для освітлювальних мереж загального призначення то будемо розглядати саме їхні параметри.

Ефект перетворення ультрафіолетового випромінювання в видиме залежить не тільки від параметрів люмінофору що використовується а й від його шару. Крім потоку люмінесценції сумарний світловий потік містить також видиме випромінювання ліній ртутного розряду, яке проходить крізь шар люмінофору. Таким чином світловий потік залежить не лише від коефіцієнту поглинання люмінофору а й від коефіцієнту відбивання. Колірність випромінювання даного типу ламп не точно відповідає колірності використаного люмінофору. Потік випромінювання ртутного розряду перетягує колірність лампи в синю область спектру.

Для люмінесцентних ламп які використовуються в освітлювальних мережах загального призначення з усіх кольорів які можна отримати за допомогою люмінофорів, вибрані 4 основних, які визначають типи ламп: ЛД – денного світла, колірна температура 6500 К; ЛХБ – лампи холодного білого світла, колірна температура 4500 К; ЛБ – лампи білого світла, колірна температура 3500 К; ЛТБ – лампи теплого білого світла, колірна температура 3000 К. До ламп з вказаною колірністю розрізняють також лампи з покращеним спектральним складом, до позначення таких ламп в кінці додають букву Ц. В

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 18 |
| Змн. | Анк. | № доквм. | Підпис | Дата | | |

люмінесцентних лампах випромінювання охоплює практично весь видимий діапазон з максимумом в жовтій, зеленій або голубій його частині.

Правильне сприйняття кольору оточуючих предметів залежить від спектрального складу випромінювання джерела світла. В такому випадку прийнято говорити про передачу кольору джерелом світла і його оцінюють по значенню параметра індексу передавання кольору Ra. Його значення є показником сприйняття кольору предмета при його освітленні даним джерелом штучного світла в порівнянні з еталонним. Чим більше значення Ra (максимальне 100), тим вище якість передавання кольору лампою. Для люмінесцентних ламп типу ЛДЦ Ra=90 [7]. Виробники для позначення типу лампи використовують позначення та коди, в таблиці 1.4 наведений приклад позначення типу лампи в залежності від колірної температури та індексу передачі кольору різними фірмами [8].

Таблиця 1.4

Тлумачення і відповідність кодів колірності різних фірм

| характеристика | стандартні | | | | |
|---------------------------------|------------|----------------|--------|--------|--------------|
| | Денне | Холодний білий | | Білий | Теплий білий |
| Колірна температура, К | 6500 | 4500-4000 | 4000 | 3500 | 3000 |
| Індекс передачі кольору, Ra | 75 | 75 | 62 | 56 | 50 |
| Вітчизняний код | ЛД | ЛХБ | | ЛБ | ЛТБ |
| Код колірності OSRAM | 10-765 | 25-740 | 20-640 | 23-535 | 30-530 |
| Код колірності General Electric | 54 | 25 | 33 | 35 | 29 |
| Код колірності PHILIPS | 54 | 25 | 33 | - | 29 |

Середній строк служби всіх типів лам потужністю від 15 до 80 Вт в наш час перевищує 12000 годин при мінімальному часові світіння кожної лампи

4800-6000 годин. За час середнього строку служби допускається спад світлового потоку не більше ніж на 40% від початкового.

Таблиця 1.5

Характеристики люмінесцентних ламп загального призначення

| Тип ламп | Потужність, Вт | Сила струму, А | Робоча напруга, В | Розміри, мм | | Середній світловий потік, лм | Строк служби, год | |
|----------|----------------|----------------|-------------------|---------------------|---------|------------------------------|-------------------|-------------|
| | | | | Довжина з штирьками | діаметр | | Середній | Мінімальний |
| ЛБ15 | 15 | 0,33 | 54 | 451,6 | 27 | 820 | 15000 | 6000 |
| ЛТБ15 | | | | | | 820 | | |
| ЛХБ15 | | | | | | 800 | | |
| ЛД15 | | | | | | 700 | | |
| ЛЦД15 | | | | | | 600 | | |
| ЛБ20 | 20 | 0,37 | 57 | 604 | 40 | 1200 | 12000 | 4800 |
| ЛТБ20 | | | | | | 1100 | | |
| ЛХБ20 | | | | | | 1020 | | |
| ЛД20 | | | | | | 1000 | | |
| ЛЦД20 | | | | | | 850 | | |
| ЛБ40 | 40 | 0,43 | 103 | 1213,6 | 40 | 3200 | 12000 | 4800 |
| ЛТБ40 | | | | | | 3100 | | |
| ЛХБ40 | | | | | | 3000 | | |
| ЛД40 | | | | | | 2500 | | |
| ЛЦД40 | | | | | | 2200 | | |
| ЛБ65 | 65 | 0,67 | 110 | 1514,2 | 40 | 4800 | 13000 | 5200 |
| ЛТБ65 | | | | | | 4650 | | |
| ЛХБ65 | | | | | | 4400 | | |
| ЛД65 | | | | | | 4000 | | |
| ЛЦД65 | | | | | | 3160 | | |
| ЛБ80 | 80 | 0,865 | 102 | 1514,2 | 40 | 5400 | 12000 | 4800 |
| ЛТБ80 | | | | | | 5200 | | |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 20 |
| Змн. | Арк. | № докum. | Підпис | Дата | | |

| | | | | | | | | |
|-------|--|--|--|--|--|------|--|--|
| ЛХБ80 | | | | | | 5040 | | |
| ЛД80 | | | | | | 4300 | | |
| ЛЦД80 | | | | | | 4800 | | |

Яскравість люмінесцентних ламп різної потужності складає від $4 \cdot 10^3$ до $8 \cdot 10^3$ кд/м². При включенні люмінесцентних ламп до мережі живлення змінного струму в кожен півперіод відбувається затухання і повторне запалення розряду в лампі, що приводить до пульсації світлового потоку. Завдяки відсвічуванню люмінофору пульсація світлового потоку лампи послаблена в порівнянні з пульсацією розряду. Зниження стробоскопічного ефекту, який породжений світловим потоком люмінесцентних ламп, добиваються завдяки під'єднанню до мережі живлення груп ламп одночасного ввімкнення, наприклад на дві або три різних фази мережі живлення.

Електричні і світлові параметри люмінесцентних ламп визначаються параметрами схеми включення і напругою мережі живлення. При зміні напруги мережі електричні параметри ламп і ті з світлових і експлуатаційних параметрів, які безпосередньо пов'язані з електричними, також змінюються. При будь-яких схемах включення параметри люмінесцентних ламп значно менше залежать від напруги живлення, ніж параметри ламп розжарювання [7].

Також широкого застосування набули компактні люмінесцентні лампи (КЛЛ) потужністю від 5 до 25 Вт світловою віддачею від 30 до 60 лм/Вт і строком служби до 10000 годин. Частина з них призначена для прямої заміни ламп розжарення. Вони мають вмонтовану пускорегулюючу апаратуру і виконані на основі стандартних різьбових або штирьових цоколів. Люмінофор в КЛЛ можуть працювати при більш високих поверхневих щільностях опромінення ультрафіолетом ніж в стандартних люмінесцентних лампах. За рахунок цього можна значно зменшити діаметр розрядної трубки. Для зменшення габаритів лампи в довжину трубки надають вигнуту форму або розділяють трубку на кілька коротших ділянок, які розташовують паралельно і

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 21 |
| Змн. | Анк. | № доквм. | Підпис | Дата | | |

з'єднують між собою вигнутими ділянками трубки, або ввареними скляними патрубками.

1.3. Світлодіодні лампи

В сучасному світі надзвичайної популярності набувають світлодіодні лампи для побутового, та промислового використання. В таких джерелах світла випромінювання генерують світлодіоди при проходженні через них електричного струму.

Світлодіодні лампи мають великий вибір форм розмірів і різних конструкцій проте всі вони побудовані за однаковим принципом і мають однакові основні складові.



Рис. 1.4. Схема будови світлодіодної лампи:

1 – оптична система (розсіювач, відбивач); 2 – світлодіодний модуль; 3 – система тепловідводу (радіатор); 4 – система живлення та керування (драйвер); 5– цоколь [9]

Основне призначення оптичної системи – формування заданого розподілу світла в просторі, при одночасному збереженню світлового потоку, який поступає від світлодіодів. Основними елементами системи є відбивач та

розсіювач. Дані конструктивні елементи можуть бути присутні в лампі як разом так і роздільно.

Відбивачі виконують функцію направлення світла і його перерозподілу в просторі за рахунок багатократного відбивання світла. Найважливіший параметр який їх характеризує – коефіцієнт відбиття. Тому для них потрібні матеріали з високим коефіцієнтом відбиття. В сучасних лампах використовують різні матеріали для відбивачів: метали з захисними шарами, скло, краски та емалі. В лампах які використовуються в побуті коефіцієнт відбиття знаходиться в межах 85-95%.

Розсіювач потрібен для створення однорідного розподілу світла в просторі. Їх виготовляють з полікарбонату та поліметилметакрилату, оскільки ці матеріали дозволяють виготовляти розсіювачі любых форм і розмірів. Також дані матеріали легкі та міцні.

Говорячи про світлодіодний модуль, основною його частиною звісно є світлодіод, іншими словами LED (Light-emitting diode). В залежності від того яким шляхом отримують біле світло лампи поділяють на та, що використовують:

- Світлодіоди білого світла системи «синій кристал – жовтий люмінофор», отримані на основі перетворення довжини випромінювання кристалу з синім випромінюванням в довжини хвиль жовтого діапазону видимого спектру шляхом люмінофору і адитивного змішування даних кольорів для отримання білого світла. Люмінофор може бути нанесений прямо на кристал або віддалений від нього на деяку відстань. («Синій кристал» - світлодіод, пікова довжина хвилі випромінювання якого знаходиться в синій області спектру).
- Світлодіод білого світла системи «синій кристал» - «жовтий люмінофор» - «червоний люмінофор», перекриваючий більшу частину видимого діапазону спектру, підвищена якість світла.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 23 |
| Змн. | Анк. | № доквм. | Підпис | Дата | | |

- Світлодіод білого світла системи «синій кристал» - «червоний кристал» - «червоний люмінофор», схожий по принципу дії та характеристикам до попереднього.
- Світлодіоди білого світла системи «ультрафіолетовий кристал» - «жовтий люмінофор».

За конструктивним фактором світлодіоди які використовують в лампах теж можна розділити на три типи. Перший це вивідні, з ніжками діаметром колби 3,5,10 мм. Другий – SMD (surface mounted device, прилади для поверхневого монтажу) світлодіоди. Останні – COB світлодіоди (Chip-On-Board), це матриці із світлодіодів розміщених на платі під одним шаром люмінофору. В сучасних лампах світлодіоди першого типу не використовуються.

Не менш важливою системою є система тепловідводу, погана робота якого значно погіршує характеристики лампи. Для запобігання перегрівання світлодіодного модуля використовують радіатори. Радіатор – це прилад для розсіювання тепла, яке йому передається за рахунок тісного механічного контакту з генератором тепла [10].

Система живлення та керування сучасних виконує функцію перетворення напруги мережі живлення в оптимальну величину живлення для групи світлодіодів. Підвід одного стабілізованого струму до кожного світлодіоду окремо по паралельній схемі технічно важкий і майже не використовується в лампах для побутового використання. На рисунку 1.5 приведений приклад схеми простого драйвера на основі діодного мосту. В основі його роботи лежать такі процеси як випрямлення і згладжування вхідної напруги, і пониження її до необхідної величини [11].

Останнім елементом конструкції є цоколь. Світлодіодні лампи випускаються з усіма видами цоколів, для їх більш широкого використання. Так як ними зараз заміняють як і лампи розжарення так і люмінесцентні і

компактні люмінесцентні лампи то для них використовуються різьбові, штирьові, софітні і інші [10].

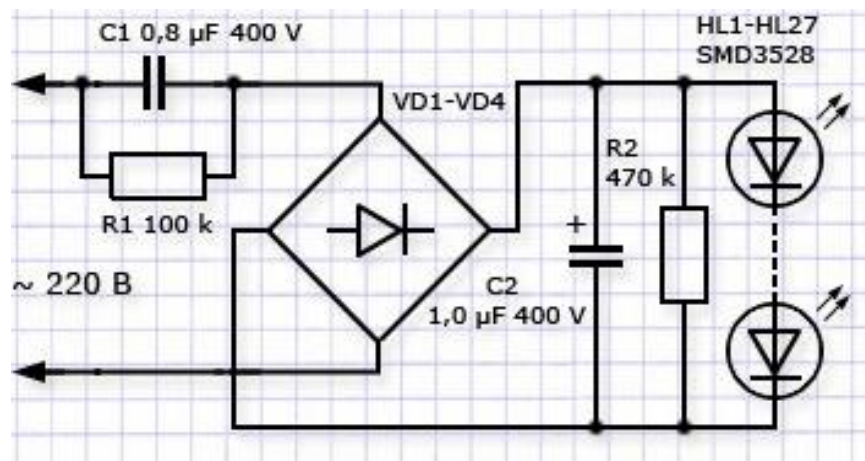


Рис. 1.5. Електрична схема драйвера світлодіодної лампи MR-16

Як і інші штучні джерела світла світлодіодні лампи характеризуються світловими, електричними і експлуатаційними параметрами.

Говорячи про електричні параметри, можна виділити напругу живлення та номінальну потужність. Щодо напруги живлення то світлодіодні лампи здатні працювати як від змінної так і від постійної напруги, і від різного номіналу вхідної напруги. Все через те що система живлення та управління перетворює вхідну напругу мережі живлення на постійну напругу потрібного номіналу [11].

Щодо номінальної потужності, то цей параметр ефективно вирізняє світлодіодні від інших типів ламп. Для отримання однієї і тієї ж величини світлового потоку світлодіодна лампа споживає в 6-8 разів менше за лампу розжарення і в 1.5-2 рази менше ніж люмінесцентна чи компактна люмінесцентна лампа. Наприклад світлодіодна лампа потужністю 7-9 Вт, в залежності від елементної бази і виробника, генерує світловий потік в 750 лм, в цей же час за даними таблиці 1.3 ми бачимо, що таку ж величину світлового потоку генерує лампа розжарення потужністю 60 Вт, і люмінесцентна лампа потужністю 15 Вт (дані таблиці 1.5).

Майже всі світлові характеристики залежать від встановленого світлодіодного модуля. Світлодіоди мають широкий спектр випромінювання, і

він залежить від способу отримання білого світла, описувалось раніше. Оскільки лампи дають великий світловий потік на маленькій потужності то вони мають надзвичайно велику світлову віддачу, 70-200 лм/Вт, в залежності від світлодіодів які використовуються. Також від світлодіодів можна добитися практично будь-якої потрібної вам кольорової температури випромінювання, що дозволяє комфортно замінити світлодіодною лампою інше джерело штучного світла. Індекс передачі кольору даних ламп знаходиться на рівні люмінесцентних $R_a=75\ldots95$, можна до битися і кращої передачі кольору але такі лампи значно дорожчі і не використовуються в побуті. Не залежить він світлодіодного модуля лише такий параметр як пульсація світлового потоку, але він повністю залежить від системи живлення та керування, яка випрямляє і згладжує напругу.

А от саме експлуатаційні параметри значною мірою надали даному типу ламп таку популярність, так як строк їхньої служби надзвичайно високий строк служби в порівнянні з аналогами, 20000-60000 годин для ламп загального призначення, а деякі дорогостоячі екземпляри здатні працювати до 100000 годин. Також вони значно менше нагріваються в процесі експлуатації за лампи розжарення. Існують різні рівні захисту ламп: від пилу, вологи, високих або низьких температур. Це дозволяє використовувати їх за різних зовнішніх умов. А так як світлодіодними лампами в наш час замінюють інші типи ламп, то виробники створюють їх за потрібними габаритними розмірами, формами і типами цоколів, що дозволяє замінити інші джерела штучного освітлення.

| | | | | | | |
|------|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 26 |
| Змн. | Анк. | № докв. | Підпис | Дата | | |

Висновки до розділу 1

Провівши аналіз побудових джерел освітлення, виянилось що кожен із них має ряд своїх переваг і недоліків.

Лампи розжарення були найбільш популярними в недалекому минулому, проте з часом їх почали замінювати іншими типами ламп. Перевагами ламп розжарення є:

- низька ціна;
- невеликі габаритні розміри;
- моментальне запалення і повторне запалення;
- можливість працювати на будь-якому типі струму;
- нечутливі до полярності напруги;
- непомітність мигання при роботі на змінному струмові;
- є можливість використовувати регулятори яскравості;
- неперервний спектр випромінювання;
- відсутність токсичних елементів, не потрібна інфраструктура для утилізації;

Недоліки:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 27 |
| Змн. | Анк. | № доквм. | Підпис | Дата | | |

- малий строк служби;
- низька світлова віддача;
- світловий ККД ламп розжарення дуже низький;
- пожежонебезпечні. Через 30 хвилин після включення лампи розжарення температура зовнішньої поверхні колби складає, в залежності від потужності: 25 Вт - 100 °С, 40 Вт - 145 °С, 75 Вт - 250 °С, 100 Вт - 290 °С, 200 Вт - 330 °С;
- крихкі, чутливі до ударів і вібрації.

Значної популярності набули люмінесцентні лампи, особливо для освітлення офісів, навчальних приміщень, але іноді застосовуються і в побутовому освітленні. Переваги:

- висока світлова віддача;
- високий світловий ККД;
- розсіяне світло;
- великий строк служби;
- виділяють менше тепла ніж лампи розжарення, а отже менш пожежонебезпечні;
- великий вибір конструкцій, габаритів.

Недоліки:

- хімічно небезпечні, мають в своєму складі ртуть, потребують інфраструктуру для утилізації;
- нерівномірний лінійчатий спектр, неприємний для очей і викликає викривлення сприйняття кольору предметів;
- деградація люмінофору з часом викликає зміну спектру випромінювання зменшенню світлової віддачі;
- стробоскопічний ефект при роботі;
- запалюються не миттєво;
- потребують додатковий пристрій для запуску;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 28 |
| Змн. | Анк. | № док.м. | Підпис | Дата | | |

- висока глибина пульсації.

Хоча світлодіодні лампи з'явилися відносно недавно, проте ріст їхньої популярності надзвичайно високий. Ними замінюють інші джерела штучного світла, і роблять декоративне освітлення в приміщеннях яке неможливо зробити за допомогою інших типів ламп. Переваги:

- в залежності від задач освітлення, світловий потік можна строго направити, сфокусувати або навпаки розсіяти;
- всі світлодіодні лампи мають індивідуальні стабілізатори напруги живлення;
- різноманітні конструкції і розміри ламп;
- широкий спектр випромінювання;
- високий ККД;
- великий робочий ресурс, строк служби;
- не містять токсичних речовин, тому не потребують спеціальної інфраструктури для утилізації;
- швидке включення.

Недоліки:

- висока вартість;
- потребують систему охолодження, для стабільної роботи;
- світловий потік таких ламп направлений;
- не ідеальна передача кольору в бюджетних лампах.

Проаналізувавши переваги і недоліки кожного з типів ламп я прийшов висновку що жоден з них не є ідеальним. І запропонована волоконно оптична освітлювальна мережа має великий потенціал. Так як поєднає в собі головні переваги існуючих мереж: приємний суцільний спектр і колір випромінювання, високий коефіцієнт передачі кольору, колірну температуру денного світла, енергоефективність.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 29 |
| Змн. | Анк. | № доквм. | Підпис | Дата | | |

2. ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В БУДИНКАХ

2.1. Концентрація сонячного випромінювання

Однією з основних проблем волоконно-оптичної освітлювальної мережі є концентрація сонячного випромінювання. Для цієї цілі потрібні концентратори, розглянемо найбільш поширені та доступні з них.

2.1.1. Збиральна лінза

Найпростішим варіантом є звичайна збиральна лінза. Вона представляє собою деталь з оптично прозорого матеріалу, з двома полірованими заломлюючими поверхнями. Для їх виготовлення використовують різне скло, кристали, оптично прозорі пластмаси і інші матеріали з високим показником заломлення світла. У всіх збиральних лінз середня частина товстіша за краї (за умови, що коефіцієнт заломлення лінзи вищий ніж в оточуючого її середовища,

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 30 |
| Змн. | Анк. | № докum. | Підпис | Дата | | |

тоді ефект протилежний), і розрізняють такі типи як двоопукла, плоско-опукла лінза і збиральний меніск.

Основні характеристики які важливі для побудови освітлювальної системи – це фокусна відстань та оптична сила лінзи. В даному конкретному випадку лінза має фокусувати сонячні промені, тому можна вважати, що падаючі на неї промені є паралельними.

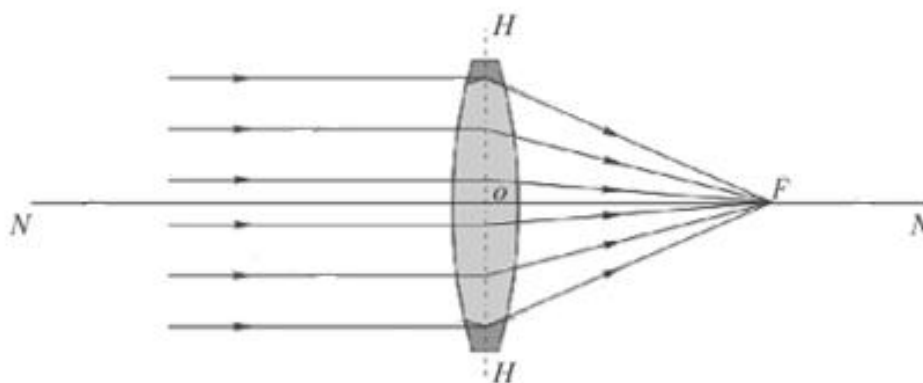


Рис. 2.1. Хід променів в збиральній лінзі

Основними елементами лінзи: NN – оптична вісь, O – оптичний центр лінзи.

Заломлення світла відбувається на гранях розподілу середовищ, на рисунку 2.1 схематично показано хід променів. Коли на лінзу падає пучок променів від нескінченно віддаленого джерела світла паралельні її оптичній осі NN, то вони, після проходження через лінзу збираються в точці F, яка розташована на фокусній відстані від оптичного центру лінзи[12].

Значення фокусної відстані для лінзи може бути розрахованим за формулою (2.1):

$$\frac{n_0}{f} = (n - n_0) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{(n - n_0)d}{nR_1R_2} \right) \quad (2.1)$$

де, n – показник заломлення матеріалу лінзи;

n_0 – показник заломлення навколишнього середовища;

d – відстань між сферичними поверхнями лінзи вздовж оптичної осі;

R_1 – радіус кривизни поверхні лінзи, яка ближче до джерела світла;

R_2 – радіус кривизни поверхні лінзи, яка далі від джерела світла.

Для опуклої поверхні знак R_1 плюс, а для R_2 навпаки. Величина $\frac{n_0}{f}$ називається оптичною силою лінзи і вимірюється в діоптріях [13].

Є декілька способів виготовлення лінз, розглянемо спосіб гарячого пресування. Спосіб полягає в тому щоб розігріти заготовку та за допомогою прес форми надати їй потрібних розмірів. Оснащення для виготовлення лінз повинно бути виготовлене з матеріалів інертних до матеріалу заготовок. Оснащення повинне мати відповідні радіуси кривизни, і високу ступінь чистоти поверхонь, яка досягається завдяки шліфуванню і поліруванню.

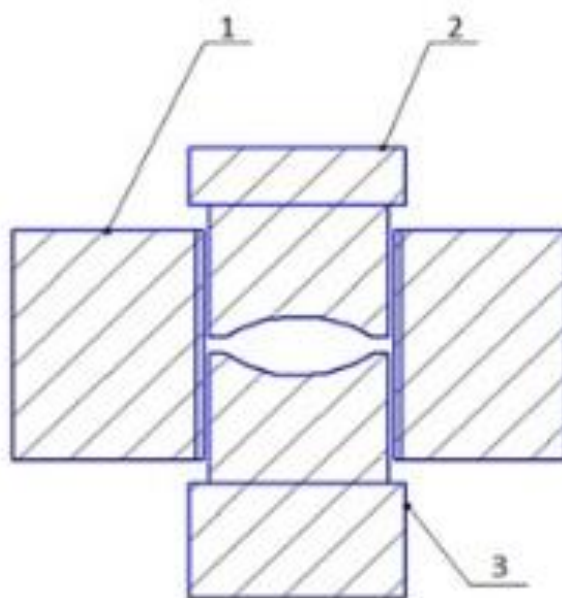


Рис. 2.2. Оснащення для виготовлення лінз:

1 – контейнер, 2 – верхня частина прес форми, 3 – нижня частина прес форми

Розраховується потрібний об'єм матеріалу лінзи, потім заготовка поміщується в прес форму де нагрівається до заданої температури (для різних матеріалів ця температура різна), після чого за допомогою пресу створюють тиск 5-7,5 тонни на протязі декількох хвилин. Потім нагрів оснащення відключається і проводиться охолодження. Основна форма лінзи надана після чого її полірують до заданого рівня і в разі потреби виконують просвітлення [14].

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Дпк. |
| | | | | | | 32 |
| Змн. | Дпк. | № доквм. | Підпис | Дата | | |

Іншим способом виготовлення лінз є метод в якому основну форму лінзі надають шліфуванням. Заготовці надають заданого радіусу та товщини, після чого заданий радіус кривизни поверхонь надається їй “грубим” шліфуванням, далі процес ідентичний попередньому методові.

2.1.2. Лінза Френеля

Проте звичайні збиральні лінзи великого розміру досить важко знайти в вільному доступі, тому можна використовувати їх аналог – лінзу Френеля. Лінза Френеля – це оптичний прилад, що складається з концентричних канавок на поверхні пластини із прозорого матеріалу кожна з яких забезпечує таке ж заломлення світла як аналогічна частина звичайної лінзи.

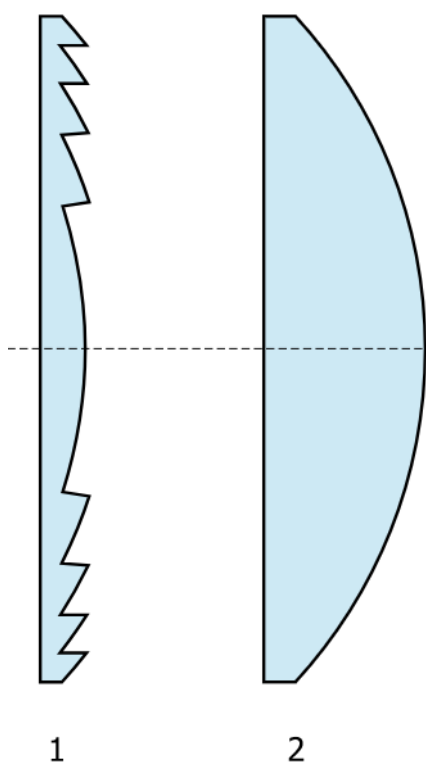


Рис. 2.3. Схематичне зображення поперечного перетину лінзи Френеля (1) в порівнянні з звичайною збиральною лінзою (2)

Оскільки світло заломлюється на межі розподілу середовищ то дана конструкція дозволила значно зменшити товщину та вагу лінз [15]. Кут нахилу та висота кожної насічки розраховуються таким чином, щоб при проходженні паралельного пучка світла через лінзу воно фокусувалось в фокальній плямі, на

фокусній відстані від лінзи. Для того щоб світло фокусувалось по всій поверхні лінзи, середня частина насічки виконується не паралельно оптичній осі а під деяким кутом, який розраховується окремо для кожної насічки в залежності від багатьох факторів. Лінзи Френеля можуть бути виготовлені різноманітних форм, розмірів і з різних матеріалів. Широкого застосування набули зразки із полімерів.

Для даної освітлювальної системи важливі такі параметри як фокусна відстань і розмір фокальної плями, вони вказуються в специфікації лінз. Також для освітлення приміщень до заданого рівня освітленості потрібно на колекторі зібрати певний його рівень. Так як ця величина є стала для певного регіону то для збору потрібної величини світлового потоку потрібно розраховувати якої площі повинна бути лінза.

Лінзи Френеля виготовляються двома основними способами: лиття під тиском, пресування або вирізання заданої форми з заготовок. Для лиття під тиском і пресування використовують спеціальне оснащення – майстер-модель (формотворча поверхня у вигляді зворотного профілю лінзи що виготовляється). В цьому методі головним є виготовлення майстер моделі заданої форми і покриття її захисними покриттями, інертними до матеріалів лінзи. Після чого за її допомогою пресують заготовки з заданого матеріалу, або виконється процес лиття під тиском з розплавленого матеріалу лінзи.

За іншим способом за допомогою механічного вирізання заготовці що обертається надають заданого профілю за допомогою копіру (оснащення для механічного вирізання що має обернений профіль готової лінзи). Також лінзи вирізають з заготовок окремими різцями за допомогою запрограмованого обладнання [16].

2.1.3. Параболоїдний рефлекторний концентратор

Проте для концентрації світла не обов'язково використовувати лінзи, для даної цілі чудово підійде параболоїдний рефлекторний концентратор. Його

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 34 |
| Змн. | Анк. | № доквм. | Підпис | Дата | | |

форма представлена параболоїдом обертання, внутрішня поверхня якого вкрита дзеркальним шаром, з високим коефіцієнтом відбиття.

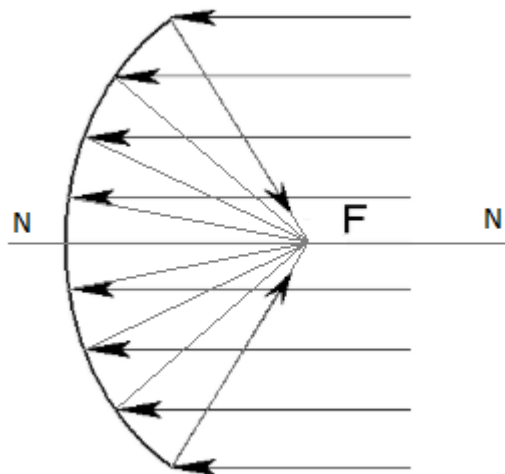


Рис. 2.4. Принцип дії параболоїдного дзеркала

Параболоїдні симетричні дзеркала фокусують паралельні його оптичній осі NN промені в фокальну пляму на фокусній відстані F. Оскільки Сонце є, в порівнянні з розміром дзеркала, нескінченно віддаленим джерелом світла, то його промені можна вважати паралельними.

Крім самого дзеркала в конструкції концентратора також має бути присутній тримач для приймача сфокусованого випромінювання [17]. Він спроектований таким чином, щоб в області фокальної плями був зафіксований приймач, в нашому випадку оптичне волокно.

Одним із різновидів оптичних пристроїв даного типу є сонячні концентратори Стірлінга (рис. 2.5) будова яких ідеально підходить для використання в освітлювальній мережі. Вони відповідають всім поставленим до них вимогам. Рефлекторна поверхня, виконана в формі параболоїда обертання, фокусує падаюче, паралельне її оптичній осі, випромінювання в досить чітку фокальну пляму, на фокусній відстані концентратора. Як видно з рисунку 2.5 фокусна відстань даних пристроїв досить велика, що для освітлювальної системи добре, так як сфокусовані промені будуть мати невеликий кут сходження. В області фокальної плями концентраторів Стірлінга розташовані однойменні двигуни, які виробляють електричну енергію, проте там також

можна розмістити відкритий вхід оптичного волокна, яке буде передавати світло. Рефлекторна поверхня може бути суцільною або виконана з окремих дзеркальних поверхонь [18]. Проте існуючі аналоги мають велику відбиваючу площу, яка в освітлювальній системі не потрібна, проте якщо зменшити всю конструкцію до певного заданого масштабу то пристрій даного типу може бути використаний.

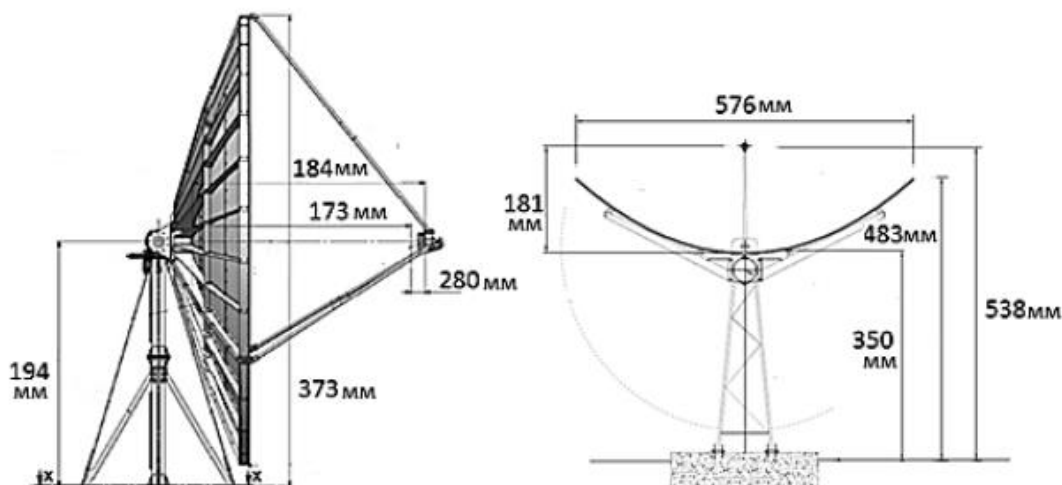


Рис. 2.5. Параболоїдний концентратор Стірлінга

При виготовленні параболоїдних рефлекторних концентраторів головне надати правильної форми каркасу та підкладці, на яку буде встановлена, або нанесена відбиваюча поверхня. Після чого наноситься рефлекторна поверхня з коефіцієнтом відбиття 80-95% і встановлюється каркас тримача приймача сонячної енергії.

2.1.4. Плоский матричний дзеркальний концентратор

Дана конструкція вже довела свою ефективність. Схожий принцип роботи використовують на сонячних електростанціях баштового типу (рис. 2.6).

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № доквм. | Підпис | Дата |



Рис. 2.6. Сонячна електростанція баштового типу «Solar Two»

В якості концентратора сонячного випромінювання використовується поле геліостатів, сукупність плоских дзеркал розташованих таким чином, щоб відбивати сонячне випромінювання на башту. Як і в плоскому матричному дзеркальному концентраторі на станції замінюють рефлектор параболічної форми, відбиваючими поверхнями плоского профілю, розміщених на одному рівні. Відмінністю є те, що на електростанції геліостати розташовані на значній відстані один від одного, а для конструкції матричного концентратора характерне близьке розміщення рефлекторних поверхонь одна біля одної.

Конструктивно він складається з сукупності окремих плоских дзеркал які фокусують сонячне випромінювання в одній точці на оптичній осі – в фокусі. Оскільки відбивачі мають плоский профіль, то вони не можуть відбивати випромінювання в одну точку, а роблять це на певну площу. З цього слідує що бля того щоб отримати фокальну пляму малого діаметру потрібно зменшувати розміри використовуваних дзеркал. Також при виготовленні, для забезпечення максимальної концентрації світла, при виготовленні важливо зберігати строгу орієнтацію кожного відбивача.

Основною перевагою над іншими концентраторами є ціна. Даний тип значно дешевший від лінз та параболоїдних дзеркал. І не менш важливою

перевагою є те, що завдяки матричній будові концентратори мають меншу «парусність», на відміну від інших зразків які представляють собою суцільні поверхні. А отже система більш стійка до сильних вітрів, при яких інші типи вийдуть з ладу.

2.2. Транспортування сонячної енергії оптичними волокнами

Нині існують аналоги освітлювальних систем, які транспортують сонячне світло всередину приміщень, але вони використовують в якості світловодів дзеркальні шахти. Проте використання таких систем супроводжується великими втратами і такі шахти обмежені в своїй довжині. Для транспортування сонячної енергії можна використовувати оптичні волокна.

При виготовленні оптичного волокна найважливішим параметром є показник заломлення його елементів. Для всіх відомих матеріалів показник заломлення $n > 1$, оскільки світло поширюється в вакуумі швидше ніж в матеріалі. При падінні променя світла на границю розподілу двох матеріалів з різним показником заломлення, в залежності від кута падіння, світло може: частково відбитись і сформувати відбитий промінь, частково пройти в інший матеріал і сформувати переломлений промінь у випадку коли кут падіння менший за критичний кут; у випадку коли кут падіння дорівнює критичному куту то заломлений промінь поширюється під кутом 90° до нормалі; а коли кут падіння більший за критичний то відбувається явище повного внутрішнього відбивання.

При розрахунку характеристик розповсюдження світла в оптоволокну важливим параметром є валеччина числової апертури (NA). Даний параметр визначає кутовий растр вхідного конусу (рис. 2.7), відповідно максимальний кут вводу світла до оптоволокну:

$$NA = \sin \theta$$

(2.2)

(θ – половина кута вводу)

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ</i> | Анк. |
| | | | | | | 38 |
| Змн. | Анк. | № док-м. | Підпис | Дата | | |

Для моєї системи даний параметр має бути достатньо великим, щоб не потрібно було добиватись досить вузько напрямленого променя світла.

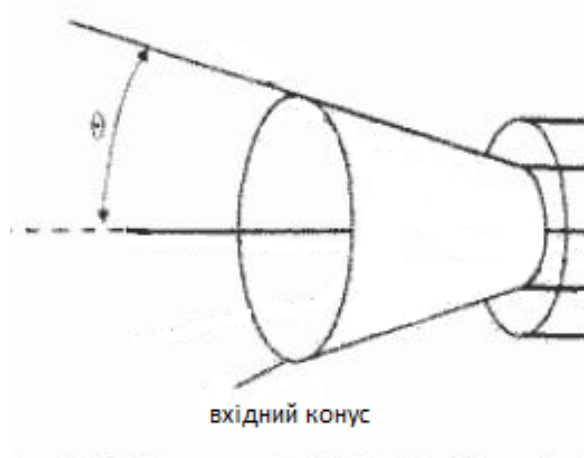


Рис. 2.7. Вхідний конус при вводиті світла в оптоволокну

Оптичне волокно (рис. 2.8) складається із двох concentричних шарів: серцевини і оптичної оболонки, які мають показники заломлення відповідно n_1 і n_2 . Елементи оптичного волокна можуть бути виготовлені з одного матеріалу (наприклад, кварцове скло), змінення показника заломлення добиваються легуванням. В якості легуючих речовин використовують як і чисті матеріали так і оксиди, наприклад, фтор (F) і оксид бору (B_2O_3) зменшують показник заломлення, а оксид германію (GeO_2) і оксид фосфору (P_2O_5) збільшують.

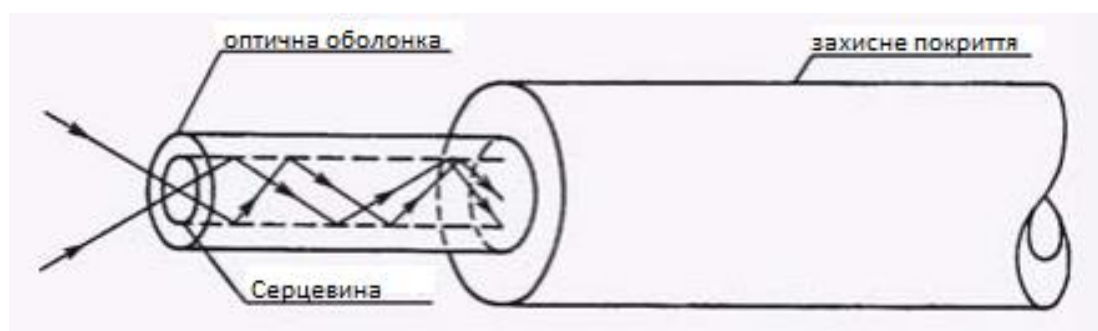


Рис. 2.8. Структура оптичного волокна

Навколо оптичної оболонки для захисту від зовнішнього впливу (волога, подряпини, мікротріщини) наносять захисне покриття з полімерів. Серцевина

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № доквм. | Підпис | Дата |

також може бути виготовлена із скла, а оптична оболонка з пластику (PCS - оптоволокно), або повністю пластикове оптоволокно.

При розгляді рівнянь Максвелла, визначаючих характер розповсюдження світла в оптоволокні, виявилось, що в оптичному волокні може поширюватись одночасно обмежена кількість типів електромагнітних хвиль, які називають модами. Кожна мода має характерну для неї структуру електромагнітного поля і фазову та групову швидкість. При русі через оптичне волокно ці величини залежать від частоти коливань, матеріалу та геометричних параметрів волокна. Моді характеризуються тим, що після двох послідовних підбивань від границі розподілу серцевини та оптичної оболонки їхні електромагнітні поля набувають однієї фази. Якщо ця умова не виконується то хвилі інтерферуючи гасять одна одну.

Розрізняють одномодове та багатомодове оптичне волокно. Хоча одномодове має значно менші втрати і спотворення сигналу, для даного проекту інтерес представляє багатомодове, через значно більший діаметр серцевини. Так як завданням оптичного волокна є передача сонячного світла на незначні відстані (в межах одного будинку, або його частини).

Втрати оптичної потужності (затухання) є результатом поглинання світла матеріалом світловоду, розсіюванням в місцях мікро- і макрозгинів, а також відбивання на кінцях світловодів. Коефіцієнт затухання, який визначає втрати оптичної потужності, позначається α і вимірюється в дБ/км. Величину втрат в оптичному волокні можна розрахувати за законом Бугера (2.3).

$$P_L = P_0 e^{-\alpha L} \quad (2.3)$$

де, P_L – величина втрат потужності по довжині L , P_0 – величина введеної потужності, α – коефіцієнт затухання. Для сучасних типів багатомодового оптичного волокна ця величина при довжині хвилі 1,3 мкм становить 0,6...1,0 дБ/км[19]. Проте для освітлювальної системи такі показники не є необхідними.

Оскільки багатомодове оптичне волокно з звичайного або кварцового скла виготовляється з діаметром серцевини 50 або 62,5 мкм, що значною мірою

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 40 |
| Змн. | Анк. | № доквм. | Підпис | Дата | | |

підвищує вимоги до колектору сонячного випромінювання. Значно більший діаметр мають POF. Широкого застосування набув POF з діаметром оптичної оболонки 1000 мкм і серцевини 980 мкм. На рисунку 2.9 наведена схема поперечного перерізу POF в порівнянні з іншими типами оптичного волокна [20].

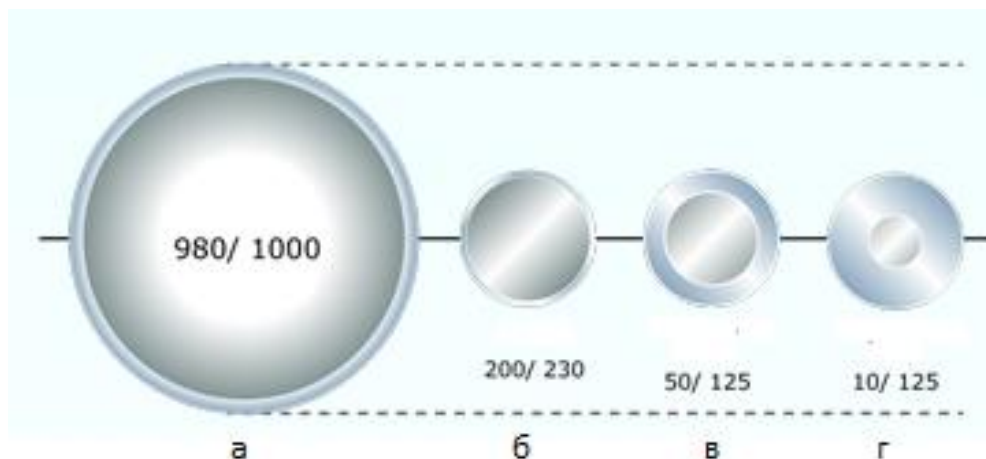


Рис. 2.9. схема оптичного волокна: а – POF, б – HPCF, в – багатомодове GOF, г – одномодове GOF

Даний тип оптичного волокна має сукупність характеристик які найбільш підходять для використання в освітлювальній системі. Для прикладу приведено особливості та специфікацію CD-1000-1 POF симплексного кабелю виробництва Оптикон-Україна.

Особливості:

- матеріал серцевини – PMMA (полімер метилметакрилат);
- показник заломлення серцевини – 1,492;
- показник заломлення оптичної оболонки – 1,417;
- матеріал оптичної оболонки – поліетилен;
- NA – $0,47 \pm 0,03$;
- Мінімальний радіус згину – 25 мм [21].

Таблиця 2.1

Характеристики CD-1000-1 POF

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 41 |
| Змн. | Арк. | № доквм. | Підпис | Дата | | |

| Пункт | | Одиниця вимірювання | Специфікація |
|----------------------|---|---------------------|--------------|
| Структурні параметри | Діаметр серцевини | мкм | 980±60 |
| | Діаметр оптичної оболонки | мкм | 1000±60 |
| | Неокруглість оболонки | % | ≤6 |
| | Діаметр захисної оболонки | мм | 2,2±0,1 |
| | Вага | г/м | 6 |
| Оптичні параметри | Втрати потужності | дБ/км | ≤200 |
| | Втрати потужності при 95% відносної вологості | дБ/км | 220 |

Продовження табл. 2.1

| | | | |
|--------------------------|--------------------------------|-------------|-----------------------|
| Механічні характеристики | Стійкість до згину при повторі | 10000 разів | Збільшення втрат ≤2дБ |
| | Межа міцності | Н | 70 |
| | Стійкість до скручування | 5 разів | Збільшення втрат ≤2дБ |
| | Ударостійкість | 0,4 Н·м | Збільшення втрат ≤2дБ |
| Екологічні параметри | Діапазон робочої температури | К | -50 до +70 |

Також POF значно дешевші за аналоги з кварцевого чи звичайного скла що не буде значно піднімати загальну ціну оптоволоконної освітлювальної мережі.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 42 |
| Змн. | Арк. | № доквм. | Підпис | Дата | | |

Існує два методи виготовлення оптичних волокон: через витягування з циліндричної заготовки, поверхневі шари якої леговані відповідним чином (газова фаза), або за допомогою багатокомпонентних волокон (метод рідкої фази).

При метолі газової фази заготовка виготовляється у вигляді циліндричного стержня, профіль якого представляє собою розширений профіль оптичного волокна. Заготовка закріплюється в механізмі подачі, який зазвичай знаходиться на висоті 7-10 метрів. Даний механізм подає заготовку в зону витягнення з нагрівальним елементом. Заготовка локально нагрівається до температури при якій починає витягуватись, покидаючи дану зону волокно вимірюється і значення передаються в систему управління для контролю швидкості подачі заготовки до зони нагріву. Після чого на волокно відразу наноситься перший захисний полімерний шар в декілька мкм товщиною. І цей шар відразу загартовується, в залежності від матеріалу покриття використовуються різні лінії загартовування. Останній елемент лінії – пристрій для намотування оптичного волокна.

Метод рідкої фази широко використовувався раніше. Він складається з декількох основних етапів. Перший етап – підготування вихідних матеріалів з високим рівнем чистоти. Другий етап – плавлення вихідних матеріалів, з отриманням однорідних субстанцій без бульбашок газів. Третій етап – витягування, виконується методом подвійного тигля [22].

2.3. Система слідування за положенням Сонця

Для оптимальної роботи системи необхідно щоб сонячні промені падали на концентратор паралельно до її оптичної осі. Так, як Сонце на протязі дня безперервно рухається використовувати його в стаціонарному положенні неможливо, тому що після проходження променів через концентратор вони сфокусованим потоком не будуть влучати на оптичне волокно.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 43 |
| Змн. | Анк. | № докum. | Підпис | Дата | | |

Для підвищення ефективності сонячних батарей використовують системи слідування за Сонцем – сонячні трекери. Це електронно-механічна система призначена для наведення елементів на джерело світла. Дана система чудово підходить для освітлювальної мережі, адже буде постійно тримати концентратор орієнтованим до Сонця.

Для сонячних електростанцій існує багато типів систем стеження за Сонцем, проте не всі вони зможуть працювати без блоку фотоелектричних перетворювачів. Один із різновидів який можна використати, працює на основі даних отриманих із двох фотоелементів (для орієнтації по одній координаті), або чотирьох (для орієнтації за двома координатами).



Рис. 2.10. Координати орієнтації трекера

На рисунку 2.10 схематично позначені основні координати при орієнтації концентратора сонячного випромінювання. За допомогою вертикальної і горизонтальної координати можна точно направити його до Сонця [23].

Принцип дії трекера досить простий. Для відслідковування положення сонця по одній координаті використовують 2 фотодатчика, розміщених на лінії паралельній горизонту (для горизонтальної складової координати) на певній відстані. Кожен датчик отримує певний рівень освітленості, якщо значення на

них відрізняються, значить концентратор розташований не перпендикулярно до Сонця по цій координаті. В цьому випадку керуюча схема передає імпульс на електродвигун, який обертає трежер до положення поки рівень освітленість обох фотодатчиків не буде однаковим. Аналогічно відбувається орієнтація по іншій координаті.

Механічна складова системи стеження за Сонцем складається з горизонтальної платформи на якій закріплений прилад для горизонтального обертання (електродвигун), який обертає платформу на яку закріплений прилад який обертає концентратор в вертикальній площині.

Для підвищення ефективності даної конструкції на фокусній відстані від концентратора на оптичній його осі потрібно закріпити оптичне волокно.

2.4. Узгодження оптичного волокна з концентратором сонячного світла

Фокусувати сонячне світло на відкритий торець оптичного волокна не вигідно, через високі вимоги до концентратора та відповідні втрати, через те що не вся площа фокальної плями буде попадати на світловод. Для узгодження елементів схеми можна використати фокон (фокусуючий конус) – пристрій на основі світловоду з змінним діаметром (зменшується) по ходу світлового променя. Існує три типи фоконів: порожній металевий конус, і скляний конус з покриттям або без.

Їх принцип дії схожий до оптичного волокна, промінь відбивається на межі розподілу двох середовищ, тільки на відміну від оптоволокна, діаметр не сталий а зменшується. За своєю формою це частина конусу, без вершини. Незалежно від типу, всі фокони мають такі основні характеристики: коефіцієнт концентрації, числова апертура та кут при вершині утворюючого конусу.

Для порожнього металевого фокона значення числової апертури визначається за формулою (2.4):

$$NA = \frac{D_2}{D_1}, \quad (2.4)$$

де D_1 – діаметр торця на вході фокона, D_2 – на виході.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 45 |
| Змн. | Анк. | № доквм. | Підпис | Дата | | |

Для скляного фокона з покриттям та без за формулами (2.5) та (2.6) відповідн.

$$NA = \frac{D_2}{D_1} \sqrt{n_c^2 - n_n^2}, \quad (2.5)$$

$$NA = \frac{D_2}{D_1} \sqrt{n_c^2 - 1}, \quad (2.6)$$

де n_c – показник заломлення осердя, n_n – показник заломлення покриття.

Значення коефіцієнту концентрації визначається за формулою (2.7):

$$K = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 [24]. \quad (2.7)$$

Висновки до розділу 2

Провівши аналіз основних складових оптоволоконної освітлювальної мережі та їх різновидів, можна зробити такі висновки:

- Звичайна збиральна лінза хоча і добре виконує свою функцію, проте для використання в системі не підходить через свої значні габарити, вагу, ціну і складність знайти зразки великого діаметру. Ці всі недоліки відсутні в лінзі Френеля. Рефлекторний параболоїдний концентратор має ряд своїх переваг, проте його використання значно підвищить ціну освітлювальної мережі, а також через свою форму вони обмежені в використанні при сильних поривах вітру, при яких дуже великий ризик, що цінний оптичний пристрій вийде з ладу. Через що функціонування всієї системи буде неможливим. Тому, на мою думку, найкращий варіант для освітлювальної мережі – це матричний дзеркальний концентратор.
- Оптичне волокно для передавання світла підходить ідеально, завдяки малим втратам, розмірам поперечного перерізу та механічній міцності. Дані параметри вигідно відрізняють його від існуючих аналогів, таких як дзеркальні світловоди. Провівши аналіз різновидів

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 46 |
| Змн. | Анк. | № доквм. | Підпис | Дата | | |

оптоволокну, виявилось що найкраще використовувати багатомодове, через значно більший діаметр серцевини і здатність передавати не одну моду випромінювання. Для використання в системі обрано POF, яке крім описаних вище переваг має нижчу вартість в порівнянні з зразками із скла та кварцового скла.

- Для ефективного використання системи потребується також система слідкування за положенням Сонця. А для комутації оптоволокну з колектором необхідний такий елемент як фокон.

3. ПРОЕКТУВАННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

3.1. Розробка структури волоконно-оптичної освітлювальної мережі

На рисунку 3.1 наведено структурну схему волоконно-оптичної освітлювальної мережі. Розгляньмо, як функціонує така мережа.

Сонячне випромінювання потрапляє на геліоконцентратор, призначення якого зібрати сонячне випромінювання, яке падає на його поверхню, сконцентрувати його і подати на вхідний торець фокону. Фокон додатково концентрує сонячне випромінювання, слугуючи елементом узгодження геліоконцентратора з волоконно-оптичним кабелем. Далі сонячне випромінювання потрапляє в керований волоконно-оптичний розгалужувач, який розподіляє сонячну енергію відповідно до поточних потреб.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 47 |
| Змн. | Анк. | № док-м. | Підпис | Дата | | |



Рис. 3.1. Структурна схема волоконно-оптичної освітлювальної мережі

Потрапивши до розгалужувача, сконцентроване світло розділяється на три частини:

- одна з них потрапляє до водяного акумулятора теплової енергії; нагріту воду можна використовувати в побутових цілях;
- інша частина підводиться до волоконно-оптичних світильників, які можуть бути, як точковими джерелами світла (відкритий кінець оптичного волокна), так і з розсіювачами;
- все інше світло потрапляє на сонячний модуль, який перетворює сонячну енергію в електричну.

Вироблена сонячною батареєю електрична енергія через контролер, заряджає акумулятор, який в свою чергу забезпечує електричною енергією систему слідкування за положенням Сонця і електричні світильники, які освітлюють приміщення в темний час доби.

Використання двох акумуляторів енергії сонячного випромінювання (теплого та електричного), дозволяє суттєво (до декількох разів) підвищити коефіцієнт корисної дії системи.

Для приймання системою максимальної кількості сонячної енергії потрібно, щоб оптична вісь геліоконцентратора була весь час спрямована на Сонце. Цю задачу виконує трекер, слідкуючи система, яка у разі відхилення осі геліоконцентратора від заданого напрямку виробляє сигнал помилки, що запускає електродвигун сервоприводу і зменшує відхилення.

3.2. Розрахунок оптичних втрат у волоконно-оптичній освітлювальній мережі

Оптичні втрати при транспортуванні сонячної енергії до її споживачів (водяного акумулятора, світильників, сонячного модуля) мають такі складові:

- втрати в геліоконцентраторі;
- втрати в фоконі;
- втрати у волоконно-оптичному кабелі;
- втрати у волоконно-оптичному розгалужувачі.

Розгляньмо матричну дзеркальну конструкцію геліоконцентратора, зображену на рис. 3.2. Нехай матриця складається з $m \times m$ плоских квадратних алюмінієвих дзеркал розміром $a \times a$ з коефіцієнтами відбиття $R = 0,7$. Максимальна приймальна площа матриці досягається за великої фокусної відстані F геліоконцентратора, коли у розрахунках можна знехтувати нахилом дзеркал. Так, наприклад, для квадратного матричного дзеркала розміром $ma = 1$ м і фокусній відстані $F = 3$ м крайні дзеркала нахилитимуться менше,

ніж на 5° , і площа приймання такими дзеркалами сонячного випромінювання зменшиться з a^2 до $a^2 \cos 5^\circ = 0,996a^2$.

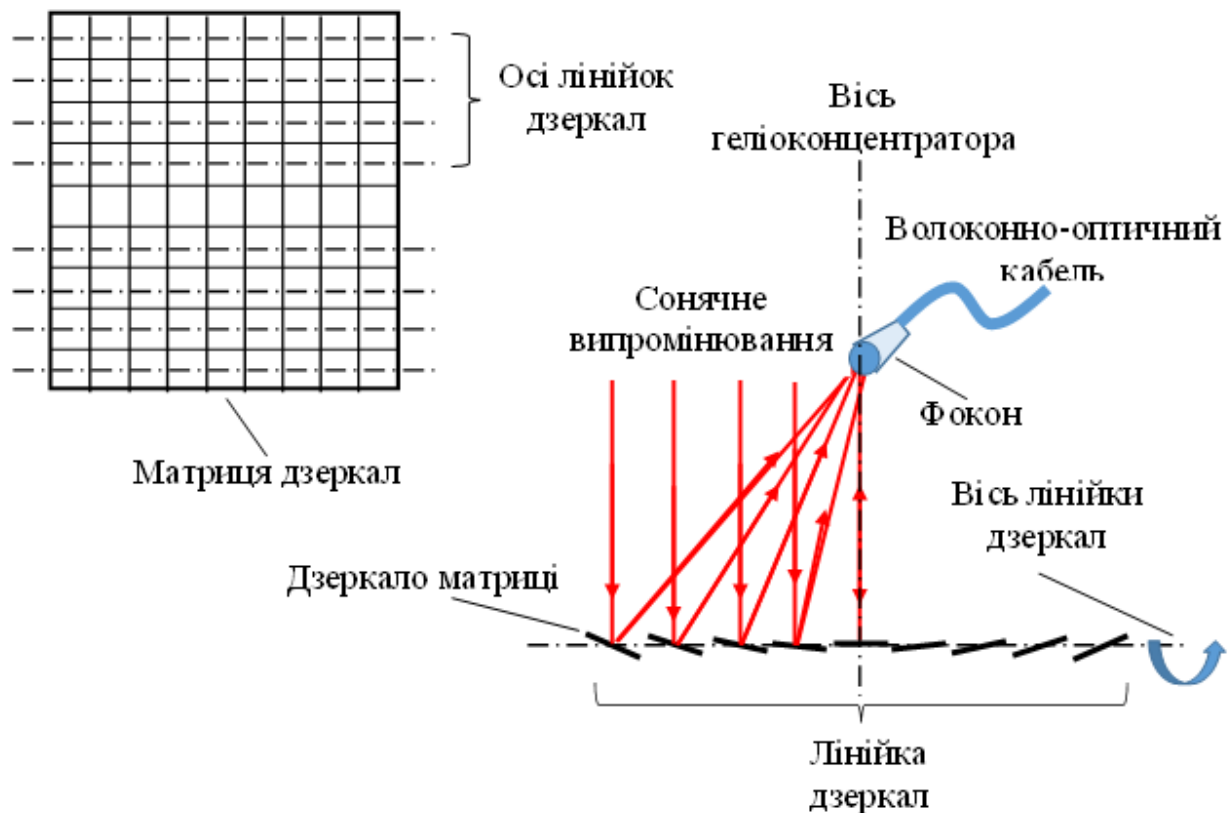


Рис. 3.2. Схема матричного дзеркального геліоконцентратора

Якщо $m = 100$, $a = 10$ мм, а зазор між дзеркалами складає $h = 1$ мм, то втрачається $[(m-1)h]^2 = (99h)^2 = 9801 \text{ мм}^2$ приймальної площі, тобто коефіцієнт передачі сонячної енергії матричним дзеркалом дорівнює

$$k_m = R \frac{m^2 a^2 - [(m-1)h]^2}{m^2 a^2} = R \left[1 - \left(\frac{(m-1)h}{ma} \right)^2 \right] = 0,69.$$

Дифракція випромінювання на апертурі дзеркала призведе до збільшення на відстані F сонячного зайчика на величину

$$\Delta a = 1,22 \frac{\lambda F}{a} = 1,22 \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3}{10} = 0,18 \text{ мм},$$

так що розмір світлової плями на вхідній апертурі фокона складатиме 10,2 мм. Якщо вхідна апертура фокона більша за діагональ світлової плями, яка рівна

$$\sqrt{2}(a + \Delta a) = 1,41 \cdot 10,18 = 14,4 \text{ мм},$$

то дифракція не вносить додаткових втрат.

Комутаційні втрати, які виникають внаслідок поперечного зміщення осей волокон однакоого діаметру при з'єднанні «встик», можна знайти за формулою:

$$B_{com} = 10 \lg \left[\frac{2}{\pi} \left(\arccos \frac{\delta}{d_c} \right) - \frac{\delta}{d_c} \left(1 - \left(\frac{\delta}{d_c} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right],$$

де d_c – діаметр серцевини волокна, δ – поперечне зміщення осей волокон (децентрування), n_c – показник заломлення серцевини волокна [25]. Оскільки коефіцієнт передачі – це відношення вихідної потужності випромінювання до вхідної, тобто

$$k_{com} = \frac{P_{вих}}{P_{вх}},$$

а в свою чергу

$$B_{com} = 10 \lg \frac{P_{вх}}{P_{вих}},$$

то можемо записати, що

$$k_{com} = 10^{-B_{com}/10}.$$

Підставляючи діаметр серцевини волокна $d_c = 980$ мкм і зміщення $\delta = 10$ мкм, знайдемо, що $k_{com} = 0,997$.

Френелівські втрати спостерігатимуться на межі повітря з матеріалом фокона і на межі повітря з матеріалом оптичного волокна (всього 4 межі). Прийmemo показник заломлення фокона і волокна $n = 1,5$. Коефіцієнт передачі, зумовлений френелівськими втратами

$$k_{Fr} = 1 - 4 \left(\frac{n_c - 1}{n_c + 1} \right)^2 = 1 - 4 \left(\frac{1,5 - 1}{1,5 + 1} \right)^2 = 0,84.$$

Спектр пропускання кварцового волокна (0,18–3,5 мкм) значно ширший за спектр сонячного випромінювання біля поверхні Землі (0,2–2,4 мкм), тому можна вважати, що волоконно-оптичною мережею передається весь спектр сонячного випромінювання.

Таким чином, коефіцієнт передачі потужності сонячного випромінювання

$$k_{opt} = k_m k_{com} k_{Fr} = 0,69 \cdot 0,99 \cdot 0,84 = 0,57.$$

На широті Києва влітку опівдні на 1 м² поверхні падає сонячне випромінювання потужністю $P_s = 760$ Вт. Це означає, що за допомогою запропонованої конструкції волоконно-оптичної освітлювальної мережі у будинку до споживачів (водяного акумулятора, волоконно-оптичних світильників та сонячного модуля) може бути доставлено сонячне випромінювання потужністю до 433 Вт. Для порівняння: ККД кремнієвих сонячних модулів складає 15 %, тобто електричні прилади у будинку зможуть споживати 114 Вт електричної енергії. У разі використання цієї енергії для освітлення потужність оптичного випромінювання буде меншою 100 Вт.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 52 |
| Змн. | Анк. | № док.м. | Підпис | Дата | | |

Висновки до розділу 3

- Розроблена волоконно-оптична освітлювальна мережа є повністю автономною, завдяки сонячним модулям, максимальна ефективність на протязі дня забезпечує трекер. А для освітлення в темний час доби використовуються електричні світильники які працюють від акумулятора.
- Зібране сонячне світло використовується не лише для освітлення, а присутні інші споживачі, для максимального ККД мережі.
- Провівши аналіз можливих втрат системи, були визначені основні складові. Та розраховано коефіцієнт передачі сонячного світла системою до споживачів який склав $k_{opt}=0,57$.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Апк. |
| | | | | | | 53 |
| Змн. | Апк. | № доквм. | Підпис | Дата | | |

ВИСНОВКИ

- Було проведено аналіз існуючих джерел світла, перераховано переваги й недоліки кожного з них. В результаті порівняння було вирішено в якості електричних світильників в спроектованій системі найкраще використовувати світлодіодні лампи завдяки їхнім хорошим світловим характеристикам і малій споживаній потужності.

- Визначені основні задачі, які повинні виконувати кожен з елементів системи. Для концентрації сонячного випромінювання було обрано матричний дзеркальний геліоконцентратор. Функцію транспортування світла виконує оптичне волокно. Для оптимальної роботи потрібно використовувати багатомодове оптоволокно, з великим діаметром серцевини і тонкою оптичною оболонкою. Для використання був обраний POF крім того, що даний тип задовольняє поставлені вимоги, він також є значно дешевший і має більшу механічну міцність.

- Крім основних елементів схеми потрібні допоміжні. Для комутації оптичного волокна з концентратором використовується фокон, даний елемент є необхідним для зменшення оптичних втрат. Щоб система ефективно працювала на протязі дня потрібно щоб оптична вісь геліоконцентратора була постійно паралельною до падаючих променів, для цього потрібен прилад для відслідковування положення сонця – трежер.

- За розробленою схемою, було проведено аналіз можливих оптичних втрат в системі та розраховано коефіцієнт передачі світла, який склав $k_{opt}=0,57$.

- Дана система за своїми характеристиками значно краща за існуючі аналоги, які використовують дзеркальні світловоди і не мають в своїй конструкції геліоконцентратора. Крім своєї прямої функції, освітлення, розроблений пристрій може забезпечувати енергією ще декілька споживачів: сонячні елементи, водяний акумулятор теплової енергії.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 54 |
| Змн. | Анк. | № доквм. | Підпис | Дата | | |

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лампа накаливания: свободная энциклопедия Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Лампа_накаливания // (дата звернення: 22.04.2020)
2. Устройство лампы накаливания: информационный сайт "Искусственное освещение", 20.06.2015. URL: <https://artillum.ru/lamps/88-ustrojstvo-lampy-nakalivaniya.html> // (дата звернення: 22.04.2020)
3. Параметры ламп накаливания: информационный сайт "Искусственное освещение", 27.07.2014. URL: <https://artillum.ru/lamps/42-parameters-incandescent.html> // (дата звернення: 24.04.2020)
4. Виды источников света и их характеристики: информационный сайт "Искусственное освещение", 20.06.2015. URL: <https://artillum.ru/lamps/87-vidy-istochnikov-sveta.html> // (дата звернення: 24.04.2020)
5. Макаров Д. Цветовая температура ламп накаливания: информационный интернет-сайт "Заметки Электрика" URL: <https://www.asutpp.ru/cvetovaya-temperatura-lamp-nakalivaniya.html> // (дата звернення: 25.04.2020)
6. Люминесцентная лампа: свободная энциклопедия Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%8E%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%81%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BB%D0%B0%D0%BC%D0%BF%D0%B0 // (дата звернення: 30.04.2020)
7. Люминесцентные лампы: информационный сайт "Искусственное освещение", 05.08.2014. URL: <https://artillum.ru/lamps/45-fluorescent-lamps.html> // (дата звернення: 02.05.2020)
8. Люминесцентные лампы. Устройство, параметры, технические характеристики ламп: информационная торговая система ЭлектроТехИнфо, 18.09.18. URL: https://eti.su/articles/spravochnik/spravochnik_1667.html // (дата звернення: 02.05.2020)

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 55 |
| Змн. | Арк. | № док-м. | Підпис | Дата | | |

9. Как выбрать светодиодные лампы для дома: информационный сайт "Искусственное освещение", 25.07.2015. URL: <https://artillum.ru/lamps/101-svetodiodnye-lampy-dlja-doma-kak-vybrat.html> // (дата звернення: 05.05.2020)
10. Бугров В.Е., Виноградова К.А. Оптоэлектроника светловодов. Учебное пособие. – Санкт-Петербург, ИТМО, 2013. – 62 с.
11. Светодиодная лампа: устройство и принцип работы: электротехнический форум "Электротехника и Электромонтажные работы". URL: <https://forum220.ru/led-construction.php> // (дата звернення: 09.05.2020)
12. Шульгин Б. В. Материалы микро и оптоэлектроники: кристаллы и световоды. – 2018. – 235 с.
13. Линза: свободная энциклопедия Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%BD%D0%B7%D0%B0> // (дата звернення: 12.05.2020)
14. Прикладная оптика-2016: XII Международная конференция. Сборник трудов. Том 1. - Санкт-Петербург, 14-18 ноября 2016. – 173 с.
15. Лінза Френеля: вільна енциклопедія Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%96%D0%BD%D0%B7%D0%B0_%D0%A4%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D0%BB%D1%8F // (дата звернення: 14.05.2020)
16. Пат. UA 90288 Україна, 26.04.2010. Спосіб виготовлення майстер-моделі для виробництва плоскої сферичної лінзи Френеля (варіанти). / Краснов В.М., Кожохіна О.В., Скрипець А.В., Тронько В.Д., Марченко М.Л.
17. Новая наука: современное состояние и пути развития. Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции 30 января 2017 г. Часть 2. – Sterlitaamak, РФАМИ, 2017. – 156 с.
18. Рахматулин И.Р., Кирпичникова М.А. Перспективы использования различных конструкций солнечных концентраторов на территории Российской Федерации // Энергетика, Вестник ИрГТУ Том 21, № 2, 2017, с. 127-135.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 56 |
| Змн. | Анк. | № док-м. | Підпис | Дата | | |

19. Яковлев В. Основы оптоволоконной технологии // В записную книжку инженера. – 2002. - №4. – С. 74-81.
20. Characteristics of POF: Industrial Fiber Optics. URL: https://i-fiberoptics.com/pof_characteristics.php // (дата звернення: 17.05.2020)
21. CD-1000-1 POF simplex cable: FIBER OPTIC TECHNOLOGY. URL: https://optokon.ua/files/TC_dlya_kabelya/CAB_08-08_EN-POF-CD1.pdf // (дата звернення: 17.05.2020)
22. Производство оптических волокон: Оптикон Украина. URL: <https://optokon.ua/news/proizvodstvo-opticheskikh-volon/> // (дата звернення: 20.05.2020)
23. Яхно С.О. Обґрунтування ефективності використання двосторонніх сонячних панелей в умовах Придніпровського регіону / Дипломна робота: Спеціальність 141. – Дніпро; ДП, 2018.
24. Кучеренко О.К. Волоконна та інтегральна оптика. Навчальний посібник для студентів. – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 25 с.
25. Кучеренко О.К. Волоконна та інтегральна оптика. Навчальний посібник для студентів. – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 216 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДП. ДЕ62.002.000 ПЗ | Анк. |
| | | | | | | 57 |
| Змн. | Анк. | № док-м. | Підпис | Дата | | |

ДП.ДЕ62.002.000 Е1

ДОДАТОК А

Перш. викорис.

Довід. №

Підпис і дата

Зам. інв. №

Інв. № дубл.

Інв. № ориг.

Сонячне випромінювання

Геліоконцентратор

Фокон

Волоконно-оптичний кабель

Розгалужувач сонячного випромінювання

Водяний акумулятор теплової енергії

Волоконно-оптичні світильники

Трекер

Акумулятор

Контролер

Сонячний модуль

Електричні світильники

Позначення

→ оптичний зв'язок

→ електричний зв'язок

--- механічний зв'язок

ДП.ДЕ62. 002.000 Е1

Волоконно-оптична освітлювальна мережа.

Схема структурна

Літ.

Маса

Масштаб

Арк.

1

Архівів

1

КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕЛ, ЕПС,

Змн.

Арк.

№ локум.

Піліпис

Дата

Розроб.

Гуртовий Ю.В.

Перевір.

Чалюк В. О.

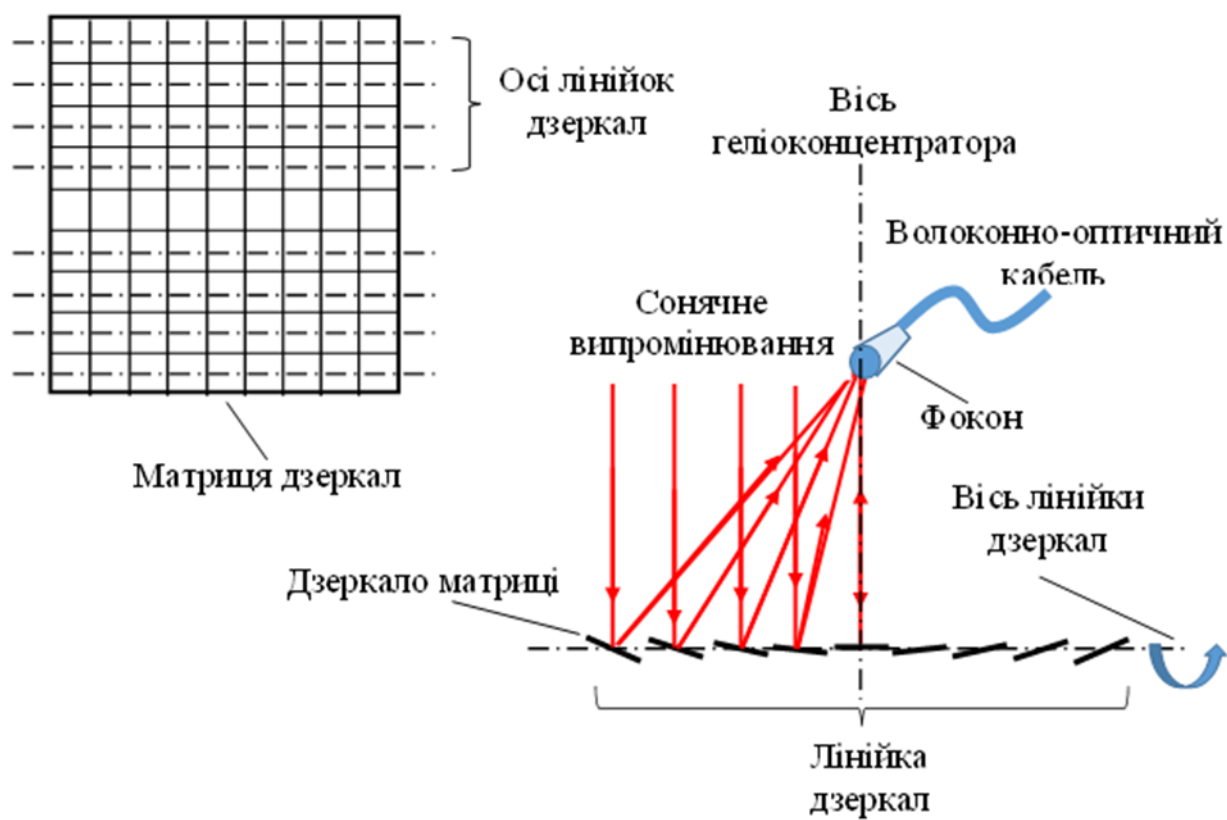
Т. Контр.

Н. Контр.

Чалюк В. О.

Затвердл.

Ямненко Ю.С.



S U M M A R Y

Fiber-optic lighting network

The diploma project of first educational level "Bachelor" by specialty 171 Electronics, specialization Electronic Instruments and Devices Hurtovyi Yurii. National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». Faculty of Electronics, Department of Electronic Devices and Systems. Academic group DE-62. - Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2020. - 57 p., Ill. 17, tables 6.

Keywords: light source, lamp, lighting network, optical fiber, solar concentrator, solar battery, optical losses.

Summary of the project: this work consists of an introduction in the amount of the 1st page, which highlights the relevance of the developed lighting system, due to the depletion of fossil energy sources and the prospects for widespread use in the future. The purpose of this work, which is to develop a fiber-optic lighting network.

The first section is devoted to the analysis of the literature on modern household light sources. This section includes 24 pages and is divided into three sections. The first section contains information about incandescent lamps. Describes the principle of operation, structure and main characteristics of incandescent lamps, such as: light, electrical and operational

In the second subsection of the third section the fluorescent lamp is considered. The principle of operation, structure and main characteristics are also described. The main types of these lamps and their areas of application were briefly considered.

The third section of the first section is devoted to LED lamps. The principle of operation, structure and main characteristics are described. The mechanism of obtaining white light by powerful LEDs is explained. Particular attention is paid to

the main elements of the device, in particular: LED module, diffuser, driver and cartridge. The role of each component in the stable operation of the lamp is described.

The result of the analysis of the literature on household light sources was a comparison of parameters and characteristics of each type of lamp. The advantages and disadvantages are given. From which it is concluded that although LED lamps are the most expensive, but most of their characteristics exceed the values of other types of lamps. In particular, the average service life of LED lamps - 20000-60000 hours, fluorescent - 100000-120000 hours, incandescence about 1000 hours. As the fiber-optic lighting network can illuminate only in daylight, the comparison in the first section decided that it is best to use LED lamps as a backup light source.

The second section of the work is devoted to the effective use of solar radiation in homes. In particular, the main elements of the lighting network and their function in the system are described, set out in 17 pages.

The first section is devoted to the topic of concentration of solar radiation. The first subsection describes the simplest device for this purpose - a condenser lens. The structure and characteristics of this type of concentrators are described. The scheme of passing of optical rays through a lens is resulted, the mathematical model for definition of the basic characteristics - focal length and optical force is resulted. The main methods of manufacturing are considered: the method of hot pressing, the method of grinding.

In the next subsection, we consider the Fresnel lens - an optical device consisting of concentric grooves on the surface of a plate made of transparent material, each of which provides the same refraction of light as a similar part of a conventional lens. The structure and principle of operation are described. The main methods of manufacturing are described: injection molding and mechanical cutting from a rotating workpiece. With the help of the first lenses of the best quality are made.

The third subsection describes a paraboloid reflex concentrator. The scheme of optical operation of the device is given and the principle of operation is explained.

One example of focusing systems of this type is the Stirling concentrator. The principle of operation and design are explained.

The fourth subsection considers a flat matrix mirror hub. The structure and principle of operation is explained by the example of tower-type solar power plants. The advantages of this type of solar concentrator over others are given.

The second section highlights the problem of transporting solar radiation, for which an optical fiber was chosen. The general structure of optical fiber, materials from which it is made (glass, quartz glass, polymers) is considered. The main physical processes that occur in the optical fiber during light transmission are described, as well as the causes and magnitude of losses. After analyzing the varieties of these devices, it turned out that the most suitable for use in a multimode POF system. This optical cable has a satisfactory amount of losses, and excellent performance. And unlike glass optical fibers, it has a large core diameter relative to the diameter of the entire fiber. Two main methods of manufacturing optical fibers are described: extraction from a cylindrical workpiece whose surface layers are doped accordingly, or by means of multicomponent fibers (liquid phase method).

The third subsection of the second section considers the need to use a system for monitoring the position of the sun in order to increase the efficiency of the system. The principle of operation of the tracker on the basis of photosensors is described.

The fourth section discloses the method of matching the optical fiber with the hub using a focon. The main types of these devices are described and a mathematical model for calculating the basic parameters is given.

The conclusions to section 2 compare the devices for each of the systems and selected: as a solar concentrator - a matrix mirror hub, a device for transporting light - multimode polymer optical fiber (POF), indicated the need to use a tracker and focon for more efficient operation of the circuit.

The next section is devoted to the design of fiber-optic lighting network, set out on 7 pages.

The first section provides a block diagram of the network, which explains the principle of operation of the system. To increase efficiency, it was decided to add other optical energy consumers in addition to lighting. Water heat accumulator and solar module to generate electricity for the system's own needs and illuminate the room in the dark with electric lamps. There are 3 types of connections between components in the circuit: optical, electrical and mechanical.

In the next section, the calculation of optical losses in the fiber-optic lighting network is performed. First, the main sources of losses in the system were identified: losses in the solar concentrator, focoon, fiber-optic cable, fiber-optic splitter. The mathematical model of calculation of system losses is resulted. The calculated light transmission coefficient by the network which was $k_{opt}=0,57$. The main source of losses was the matrix mirror.

An example of the efficiency of this lighting network on the roof of Kyiv is given.

The conclusions to the third section summarize the autonomy of the designed system and its energy efficiency.

In the next structural part of the work were summarized the results of the entire thesis. From the comparison of household light sources, LED lamps were selected for use in the lighting network as electric lamps. Among other conclusions, the advantage of the developed lighting network over the existing analogues, which use mirror optical fibers as optical fibers, is indicated. The main advantages of this system: much lower losses of optical radiation in the fiber, the ability to transmit radiation over long distances, small size and high mechanical strength of POF, which gives greater opportunities for installation. And because the system also uses a powerful solar concentrator, you can use one solar collector for many solar consumers: a solar battery, a water heat accumulator, and a large number of fiber emitters.

The last part of the thesis is a list of used literature, which includes 25 sources: books, scientific journals, textbooks for students, electronic resources and patents.